

Sampo Juslin ja Samuel Kyllönen

Patteriverkoston simulointilaitteisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
25.9.2012

Tekijät Otsikko	Sampo Juslin ja Samuel Kyllönen Patteriverkoston simulointilaitteisto
Sivumäärä Aika	58 sivua + 15 liitettä 25.9.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu ja LVI-tuotantopainotteinen
Ohjaajat	LVI-laboratorioinsinööri Ari Hokkanen lehtori Hanna Sulamäki
<p>Insinöörityön tavoitteena oli suunnitella Metropolia ammattikorkeakoululle patteriverkoston simulointilaitteisto. Simulointilaitteiston tarkoituksena on tarjota insinööriopiskelijoille mahdollisuus patteriverkoston tasapainotuksen harjoitteluun sekä lämmönluovutuksen tutkimiseen. Simulointilaitteistoon kuuluu patteriverkosto sekä lattialämmitysverkosto, jota voidaan myös tasapainottaa ja jonka lämmönluovutusta voidaan tutkia.</p> <p>Simulointilaitteistoa varten tehtiin ensiksi alustava kytkentäkaavio. Samaan aikaan alettiin suunnitella laitteistolle moduuliratkaisua. Moduuliratkaisu oli tärkeä osa insinöörityötä, sillä laitteisto haluttiin rakentaa sellaiseksi, että se voitaisiin tarvittaessa purkaa ja koota toiseen paikkaan.</p> <p>KytKentäkaaviot ja moduulin suunnittelu aloitettiin AutoCAD-ohjelmistolla. Laitteistolle laskettiin käsin lämmitystehontarve, jonka avulla määräytyivät vesivirrat. Tämän jälkeen mitoitettiin putkisto. Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla mitoitettiin työläimmät komponentit, kuten sekoitusventtiilit ja pumput. Painehäviölaskelmissa käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja MagiCAD-ohjelmistoa. Useita ongelmatilanteita ratkaistiin ja niistä käytiin neuvottelemassa laitevalmistajien ja alan asiantuntijoiden kanssa.</p> <p>Työn tuloksena syntyivät simulointilaitteiston suunnittelun dokumentointi, kytkentäkaavio, asennuskuvat laitemitoituksineen sekä LVI-työselostus. Myös moduuliratkaisusta toteutettiin tarkat rakennuskuvat työselostuksineen. Moduuliratkaisua varten laadittiin lisäksi yksityiskohtaiset kokoamis- ja purkamisohjeet.</p>	
Avainsanat	lämmitysverkoston tasapainotus, patteriverkoston tasapainotus, laboratoriolaitteisto

Authors Title	Sampo Juslin and Samuel Kyllönen Simulation Instrument of Radiator Networks
Number of Pages Date	58 pages + 15 appendices 25 September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation and HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Ari Hokkanen, HVAC Laboratory Engineer Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The goal of the final year project was to design a simulation instrument of radiator networks for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The simulation instrument is to offer the students a chance to practice the balancing of radiator networks and examine heat convection. The simulation instrument included both a radiator network and a floor heating network. The floor heating network can also be balanced and heat convection examined.</p> <p>The design was started by sketching a schematic diagram. At the same time, a module solution for the project was designed. The module solution was an important part of the thesis, because it was necessary for the instrument to be taken apart for transportation and then reassembled at a new location.</p> <p>The schematic diagram and the design of the module structure were started with AutoCAD. The demand of heating power was calculated manually for the instrument that determined the required water flows. After that the pipework was sized. The most difficult parts, such as circulation pumps and control valves, were sized with the help of a spreadsheet programme. Other programmes were used for the pressure loss study. Several problems were solved, with the help of product manufacturers and HVAC specialists.</p> <p>The result of the project was design documents, a schematic diagram, installation drawings and HVAC work specifications. Exact manufacturing drawings with work specifications were also created for the module solution. In addition, detailed instructions were made for assembling and taking apart the module.</p>	
Keywords	balancing of heating networks, balancing of radiator networks, laboratory instrument

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämmitysjärjestelmän tasapainotus	3
2.1	Linjasäätöventtiilin rakenne ja toiminta	4
2.2	Patteriventtiilin rakenne ja toiminta	6
2.3	Yksinkertainen esimerkki tasapainotuksesta	7
3	Moduulit	9
3.1	Tilaajan vaatimukset ja siitä johtuva suunnittelu	9
3.2	Moduulien kehittäminen	9
3.3	Rakennuspaikka ja käytettävissä oleva tila	10
4	Lämmityspatterit	11
5	Lattialämmitys	12
5.1	Lattialämmityksen suunnittelu	12
5.2	Lattialämmityspiirien jakeluputkien eristäminen	13
5.3	Lattialämmitysjärjestelmään suunnitellut tilaajan erityistoiveet	13
6	Putkiston lämpöhäviöt	14
6.1	Lämpöhäviölaskennan teoriaa	14
6.2	Lämpöhäviölaskelmat	16
6.2.1	Patteriputkiston lämpöhäviöiden laskenta	16
6.2.2	Lattialämmityspotkiston lämpöhäviöiden laskenta	18
6.2.3	Eristettyjen meno- ja paluuputkien lämpöhäviöiden laskenta	18
7	Lämmitysverkoston varaaja	19
7.1	Varaajan suunnittelu ja valinta	19
7.2	Varaajan mitoituksen teoriaa	21
7.3	Varaajan mitoitus	22
8	Linjasäätöventtiilit	25
8.1	Linjasäätöventtiilien kartoittaminen markkinoilta	25
8.2	Laboratoriolaitteistoon soveltuvat linjasäätöventtiilit	26

8.3	Esimerkki Oraksen venttiilien toimivuudesta laboratoriolaitteistossa	26
9	Paisunta-astia	28
9.1	Paisuntasäiliön ja varoventtiilin asennus	31
9.2	Paisunta-astian asennus pumpun imu- sekä painepuolelle	31
10	Lämmitysverkoston kiertovesipumput	33
10.1	Yleistä kiertovesipumpuista	33
10.2	Verkoston painehäviölaskelma	34
10.3	Valitut kiertovesipumput	35
11	Sekoitusventtiilit	37
11.1	Laitevalintoja	37
11.2	Sekoitusventtiilin mitoituksen teoriaa	38
11.3	Pääsekoitusventtiilin mitoitus	40
11.4	Lattialämmityspiirien sekoitusventtiilin mitoitus	41
12	Laitteiston toimintatarkastelut	43
12.1	Tilanne 1: vain lattiapiirit käytössä ja vesi pääsekoitusventtiililtä lähtiessä 70 °C	43
12.2	Tilanne 2: vain lattiapiirit käytössä ja vesi pääsekoitusventtiililtä lähtiessä 45 °C	44
12.3	Tilanne 3: patterilinja käytössä minimimäärä	47
12.4	Tilanne 4: kaikki lämmityspiirit käytössä	48
12.5	Tilanne 5: verkoston käyttö puoliteholla	49
13	Lämpötilojen mittaaminen	50
14	Virtaaman mittaaminen yksittäisestä patterista	53
15	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	

Liite 1. Lämpöhäviölaskelmat

Liite 2. Paisunta-astian kytkentä pumpun imu- ja painepuolelle

Liite 3. Verkoston painehäviölaskelmat

Liite 4. Tilannekaaviot

Liite 5. Moduulien työselostus

Liite 6. Moduuleista kokoaminen ja moduuleiksi purku

Liite 7. Kokoamis- ja purkukuvat

Liite 8. Toimintatarkastelujen painehäviölaskelmat

Liite 9. Tehot ja virtaamat -kaavio

Liite 10. KytKentäkaavio

Liite 11. LVI-asennuskuva

Liite 12. LVI-työselostus

Liite 13. Moduulien rakennuskuva

Liite 14. Lattialämmityspiirien asennuskuva

Liite 15. LVI-laiteluettelo

1 Johdanto

Metropolian talotekniikan LVI-laboratorioluokissa voidaan kokeellisesti havainnoida eri järjestelmien ja laitteiden toimintaa käytännössä. Luokista löytyy monia LVI-laitteita ja järjestelmiä aina maalämmityksestä keskusilmastointikoneisiin. Kuitenkin laboratorio-luokista puuttuu lämmitysverkoston tasapainotusta havainnollistava laitteisto, vaikka vastaavanlainen on ilmanvaihdosta. Tasapainotuslaitteisto päätettiin toteuttaa opiskelijavoimin insinöörityönä. Työn tilaajana on Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Lämmitysjärjestelmän tasapainotus on tärkeä perusedellytys putkistoon liitettyjen lämmityslaitteiden tehokkaalle käytölle. Esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa saatetaan haaskata lämmitysenergiaa, jos putkistoa ei ole tasapainotettu. Tämä johtuu siitä, että kauimmainen huone lämmönjakokeskukselta on viilein, mutta sen mukaan lämmitetään koko rakennusta. Lähimpänä olevat huoneet lämpiävät tämän johdosta liikaa, ja liika lämpö johdetaan helposti ikkunatuuletuksella pois huoneesta. Kuitenkin tilanteen voisi helposti korjata putkiston tasapainotuksella.

Insinöörityön tavoitteena on suunnitella lämmitysverkoston simulointilaitteisto LVI-työselostuksineen ja asennuskuvineen. Laitteiston päätarkoituksena on tarjota insinööriopiskelijoille mahdollisuus harjoitella käytännössä patteriverkoston tasapainotusta. Tämä lisää tietoa ja ymmärrystä tasapainotuksen tarpeellisuudesta. Simulointilaitteisto soveltuu myös moneen muuhunkin laboratorioharjoitukseen. Sillä voidaan tutkia muun muassa pattereiden ja lattialämmityspiirien lämmönluovutusta sekä paisunta-astian sijoituksen vaikutusta verkoston painesuhteisiin.

Vaatimuksena on myös, että laitteisto kyetään siirtämään tarvittaessa paikasta toiseen. Tämän vuoksi laitteisto on voitava purkaa sopivan kokoisiin palasiin, jotka mahdollisesti kuljettamaan ulos tilasta. Sitten laitteisto täytyy pystyä kokoamaan uudestaan samantyyppiseksi. Tästä syntyy tarve kehittää simulointilaitteistolle jonkinlainen moduuliratkaisu.

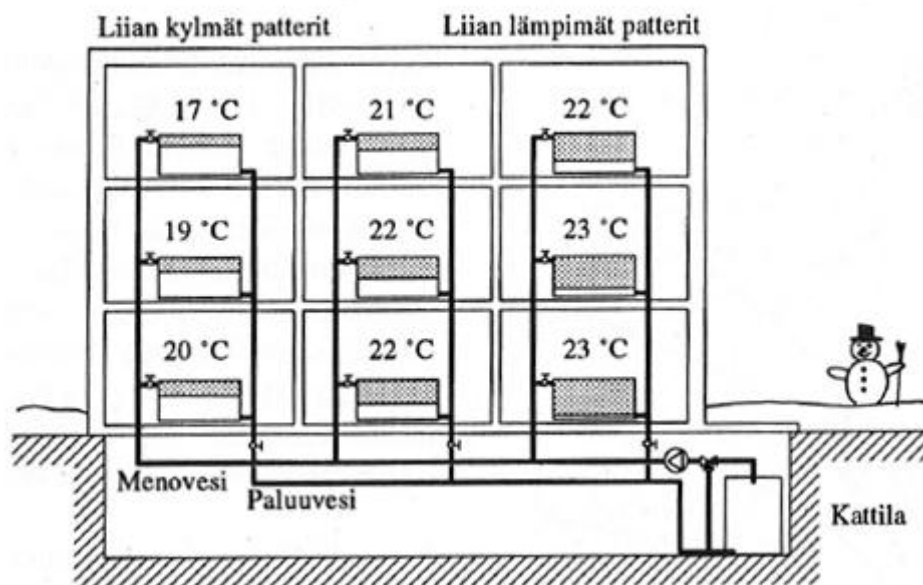
Insinöörityö toteutetaan parityönä siten, että molemmat osapuolet kirjoittavat noin puolet raportista. Sampo Juslinin vastuualueella ovat seuraavat raportin osa-alueet: *moduuli, varaaja, sekoitusventtiili, laitteiston toimintatarkastelut, yhteenveto, LVI-*

työselostus ja laiteluettelo, asennuskuvat ja kytkentäkaavio. Samuel Kyllönen taas vastaa seuraavista raportin osa-alueista: johdanto, tiivistelmä, lämmitysjärjestelmän tasapainotus, lämmityspatterit, lattialämmitys, putkiston lämpöhäviöt, linjasäätöventtiilit, paisunta-astia, kiertovesipumput, lämpötilamittaus, vesivirran mittaus patterista ja teho- ja virtaamakaavio.

2 Lämmitysjärjestelmän tasapainotus

Lämmitysjärjestelmän tasapainotuksen periaate alkaa Pascalin lain ymmärtämisestä. Pascalin lain mukaan paine leviää nesteessä siten, että kaikkiin suuntiin vaikuttaa paine, joka on yhtä suuri kuin alkuperäinen paine. Tätä lakia sovelletaan lämmitysverkoston suunnittelussa, etenkin kiertovesipumppuja mitoitettaessa. [1, s. 14.]

Lämmitysverkoston kiertovesipumppu mitoitetaan siten, että se pystyy kierrättämään vettä virtausteknisesti vaikeimman reitin kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että sama paine, jonka pumppu tuottaa, on käytettävissä myös muilla virtausreiteillä. Kuitenkin nämä muut virtausreitit ovat painehäviöiltään usein paljon "kevyempiä". Jos putkisto suunniteltaisiin tällaiseksi tasapainottamatta, verkosto hakeutuisi itse tasapainoon siten, että jokaisen virtausreitin painehäviöt tulisivat yhtä suuriksi [1, s. 15]. Tämä tarkoittaisi sitä, että painehäviöiltään "kevyempien" reittien kautta kulkisi enemmän vettä, ja vaikeimman reitin kautta vähemmän vettä. Jotta verkosto voidaan suunnitella niin, että se toimisi myös käytännössä, täytyy jokaisen kiertopiirin painehäviön olla yhtä suuri. Tätä varten on kehitelty erityiset tasapainotusventtiilit, joita ovat patteriventtiilit ja linjasäätöventtiilit. Näillä venttiileillä saadaan säädettyä eri kiertopiirien painehäviöt yhtä suuriksi, ja sitä kautta virtaamat halutunlaisiksi.



Kuva 1. Kerrostalon huoneiden lämpötilat lämmityskaudella [2, s. 173].

Mikäli verkostoa ei ole tasapainotettu, kuten voi olla vanhoissa rakennuksissa, saattaa tilanne lämmityskaudella olla kuvan 1 kaltainen. Siinä lämmönjakohuonetta lähimpänä

olevat huoneistot lämpenevät liikaa ja kauempana olevat liian vähän. Jos lämmitysverkosto tasapainotettaisiin, tulisi jokaisen huoneiston lämpötilaksi noin 21 °C.

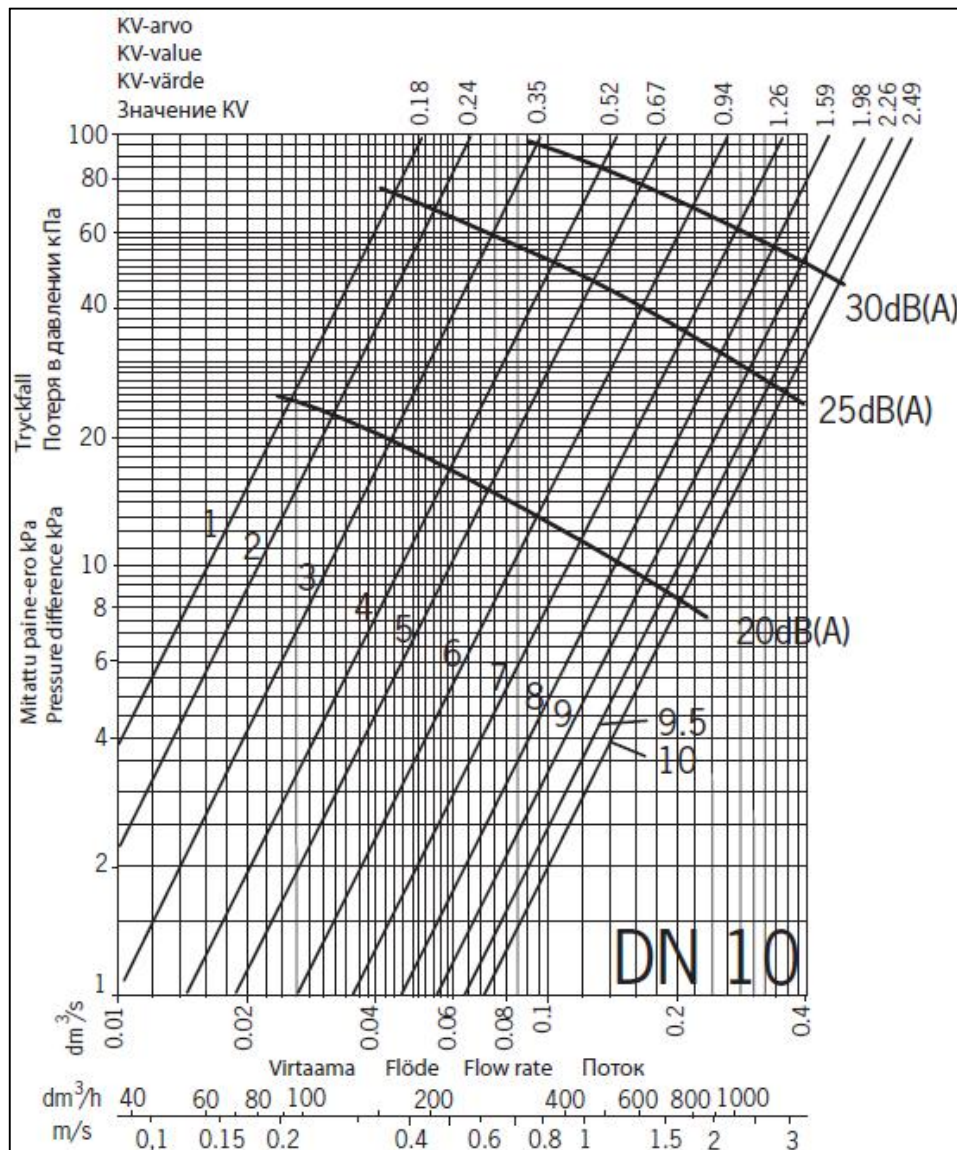
2.1 Linjasäätöventtiilin rakenne ja toiminta

Linjasäätöventtiili eli LSV on rakennettu siten, että sillä voidaan aiheuttaa verkostoon suuria painehäviöitä. Kuvan 2 linjasäätöventtiilissä on asteikot 0–10, jotka ovat venttiilin esisäätöarvoja. Asteikko on tehty siten, että 0:n kohdalla venttiili on täysin kiinni ja 10:n kohdalla täysin auki. Venttiilissä on myös kahva, josta sen saa tarvittaessa tiiviisti kiinni muuttamatta esisäätöarvoja. Venttiilin rungossa on painemittausyhteet (punainen ja sininen), joista voidaan mitata venttiilin aiheuttama painehäviö. Painemittausyhteiden kautta voi myös tyhjentää putkisto-osaa vedestä.



Kuva 2. Oras 4100 -linjasäätöventtiili

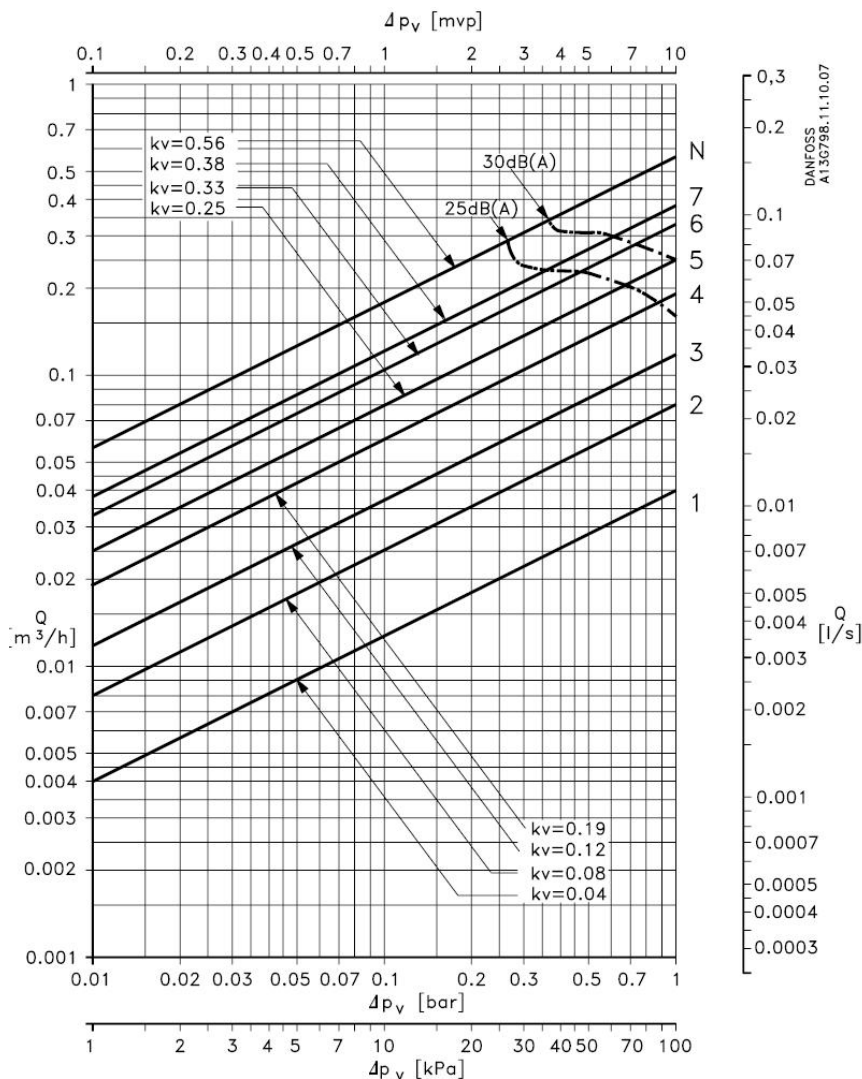
Jokaiselle erikokoiselle linjasäätöventtiilille on tehty mitoituskäyrästä, josta nähdään venttiilin painehäviö tietyllä virtaamalla ja esisäätöarvolla. Kuvassa 3 on Oras Oy:n valmistaman linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä. Linjasäätöventtiilistä mitataan paine-ero, jonka avulla voidaan katsoa venttiilin käyrästä virtaama tietyllä esisäätöarvolla. Jokaisella valmistajalla on hieman erilainen käyrästä, mutta niiden sisältö on sama. Oraksella on tavallisen LSV:n lisäksi LVK-linjasäätöventtiili, jolla voidaan säätää tehokkaasti hyvin pieniä virtaamia. Se on kehitetty nimensä mukaisesti juuri lämpimän käyttöveden kiertojohtoihin.



Kuva 3. Oras 4100 -linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä [3]

2.2 Patteriventtiilin rakenne ja toiminta

Patteriventtiilin tehtävänä on yksinkertaisesti säätää patterin läpi se vesivirta, jolla saadaan patterista haluttu lämpöteho ympäristöön. Patteriventtiili muodostuu venttiilipesästä, karasta sekä säätöosasta. Patteriventtiiliin kuuluu myös termostaattiosa, joka kiinnitetään paikoilleen vasta lämmitysverkoston tasapainotuksen jälkeen. Tasapainotuksen aikana, ennen termostaattiosan kiinnitystä, patteriventtiiliin laitetaan suunnitelman mukainen esisäätöarvo. Tämän jälkeen esisäätöarvo lukitaan, jotta tilan käyttäjä ei pääsisi muuttamaan sitä. Sen lisäksi patteriventtiili säätelee myös itse itseään lämpölaajenemiseen perustuvan termostaattiosan avulla. Tilan käyttäjällä on myös mahdollisuus, kääntämällä termostaattia, vaikuttaa siihen, kuinka herkästi termostaattiosa kurostaa virtausta. Kuvassa 4 on esimerkki patteriventtiilin painehäviökäyrästä.

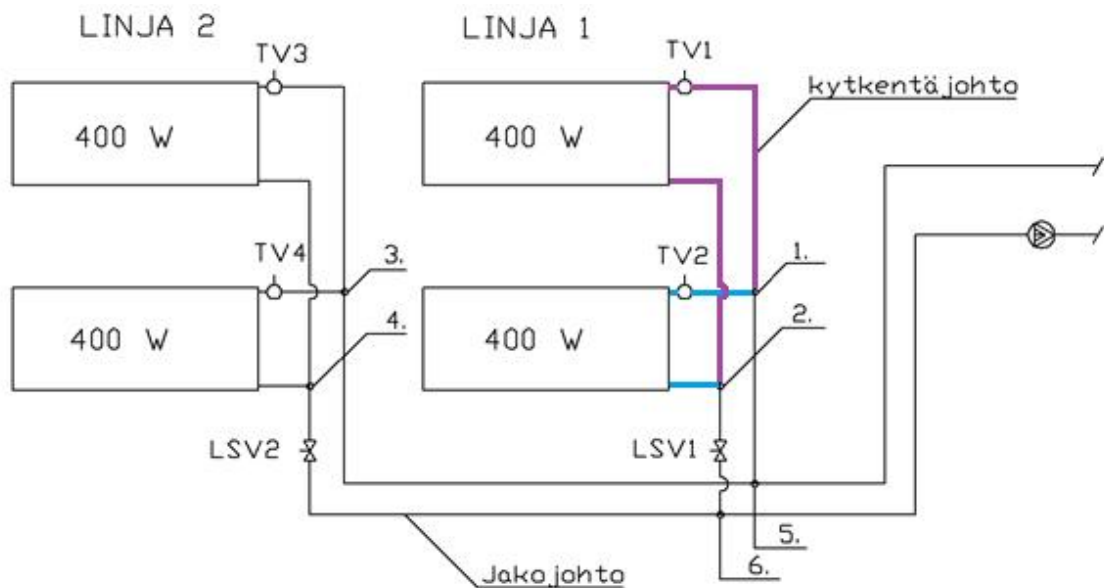


Kuva 4. Danfoss RA-N -patteriventtiilin painehäviökäyrästä [4]

2.3 Yksinkertainen esimerkki tasapainotuksesta

Tasapainotuksen periaatteena on se, että linjasäätöventtiilit tasapainottavat linjat keskenään virtausteknisesti samanarvoisiksi. Linjojen sisällä taas patteriventtiilit tasapainottavat linjan patterit samanarvoisiksi. Linjasäätöventtiilille suositellaan varattavaksi vähintään 3 kPa painehäviötä ja patteriventtiilille 4 kPa, jotta niillä olisi tarpeeksi säätövaraa. Kuvassa 5 on yksinkertainen, kahdesta nousujohdosta muodostuva lämmitysverkosto, joissa molemmissa on kaksi patteria. Kuvan esimerkkiverkosto on suunniteltu siten, että jokaisen patterin lämmitystehontarve on 400 W. Tällöin virtaamat ovat yhtä suuret kummassakin linjassa sekä linjojen sisällä olevissa patteripiireissä. Siksi putkikoot ovat identtiset jokaisessa verkoston osassa. Tästä johtuen kiertopiirien putkistosuukien painehäviöiden erot johtuvat suoraan putkiston pituudesta.

Pascalin lain mukaan pitäisi pisteiden 5 ja 6 välillä olla sama paine-ero, vaikka kulkisi minkä tahansa kiertopiirin kautta. Myös pisteiden 1 ja 2 sekä 3 ja 4 välillä pitäisi olla sama paine-ero, jotta virtaamat ja sitä kautta suunnitellut lämmitystehot toteutuisivat.



Kuva 5. Yksinkertainen lämmitysverkosto

Tasapainotus voidaan aloittaa esimerkiksi linjasta 1. Ensiksi patteriventtiilit TV1 ja TV2 säädetään siten, että vaikeamman virtausreitit patteriventtiilille määrätään painehäviöksi 4 kPa ja toiselle venttiilille 4 kPa + kytkentäjohtojen painehäviöiden erotus. Molempien pattereiden kytkentäjohtojen painehäviöt lasketaan pisteiden 1 ja 2 välillä.

Virtausteknisesti vaikeampi reitti on luonnollisesti violetilla väritetty osa, joten sen TV1:lle määrätään 4 kPa:n painehäviö. Mikäli painehäviöt putkisto-osuuksissa eroaisivat esimerkiksi 150 Pa, tulisi TV2:n painehäviöksi 4 kPa + 150 Pa eli yhteensä 4,15 kPa. Samaa toimintatapaa käytetään laskettaessa patteriventtiilien TV3 ja TV4 painehäviöt.

Seuraavaksi tasapainotetaan koko verkosto linjasäätöventtiilien LSV1 ja LSV2 avulla. Koska virtausreitti, jossa LSV2 sijaitsee, on selvästi pidempi, täytyy sen painehäviöksi määrätä 3 kPa. Sitten LSV1:lle tulee jakojohdo-osuuksien painehäviöiden erotuksen verran suurempi painehäviö. Jakojohdoilla voisi olla painehäviötä vaikkapa 450 Pa, joten LSV1:n painehäviöksi tulisi 3,45 kPa. Tasapainotuksessa ei tarvitse ottaa enää huomioon yhteistä putkisto-osuutta (kuljettaessa virtaussuunnassa pisteestä 6 pisteeseen 5), jossa pumppu sijaitsee.

Laboratoriolaitteiston suunnittelu aloitetaan moduulien kehittämisellä.

3 Moduulit

Moduuleja käsittelevässä luvussa käytetään seuraavia sanoja, jotka on syytä selventää heti alussa. Kokoamisella ja purkamisella tarkoitetaan toimintoja, jotka kohdistuvat jo valmistuneeseen laitteistoon, sen toimintakuntoon saattamiseen ja kuljetukseen valmistamiseen. Asentaminen, rakentaminen ja hitsaaminen tarkoittavat toimintoja, joilla laitteisto valmistuu aina raaka-aineista asti.

3.1 Tilaajan vaatimukset ja siitä johtuva suunnittelu

Yksi patteriverkoston simulointilaitteiston vaatimuksista oli, että se piti pystyä purkamaan siirtämistä varten ja kokoamaan taas uudelleen, ilman suurempia asennustöitä. Tämä johti tarpeeseen suunnitella jonkinlaiset moduulit. Nämä moduulit olisivat suuria laitteistokokonaisuuksia tai osia, joissa kiinni olevia pienempiä osia ei olisi tarkoitus irrottaa. Nämä pienemmät osat ovat putkia, vesipattereita, venttiileitä, taustavanerilevyjä jne. Moduulit on kuitenkin kyettävä irrottamaan toisistaan ja kantamaan. Tällöin myös moduulista toiseen jatkuvat putket on varustettava avattavilla liitoksilla, joilla putki saadaan katkaistua moduulin rajakohdasta kuljetuksen ajaksi ja liitettyä taas yhteen kokoamisvaiheessa. Tällaisella moduuliperiaatteella on luonnollisesti vaikutusta koko laboratoriolaitteiston suunnitteluun. Yhdessä käytössä olevan tilan kanssa se määrää esimerkiksi patterikoon, montako patterilinjaa ja montako patteria linjaa kohden voidaan laittaa. Moduulikokoon ja rakenteeseen taas vaikuttavat kuljetusreitit, tilojen ovikorkeudet ja tieto siitä, montako henkilöä ajatellaan purku-, kuljetus- ja kokoamisvaiheessa käytettävän.

3.2 Moduulien kehittäminen

Moduulit ajateltiin tehdä mahdollisimman samanlaisiksi niin, että moduulien puolesta sijoitusjärjestys on samantekevää; ylämoduulit tulevat kuitenkin päällimmäisiksi. Tämä antaa mahdollisuuden joskus lisätä moduulien määrää, mikäli tarvetta ilmenee. Todetakaan, että putkilla ja muilla varusteilla on vaikutusta moduulien sijoitusjärjestykseen kokoamisvaiheessa.

Moduulien asettuminen kohdakkain putkiin nähden ei ole pulttirei'istä kiinni. Kohdakkain asettuminen johtuu moduulien puristumisesta toisiaan ja myös jalkojaan vasten,

kun muttereita kiristetään. Tämän vuoksi moduulikehikoita hitsattaessa hitsausaumat on tehtävä oikeisiin kohtiin, etteivät saumakohoumat estäisi moduulien asettumista oikeille kohdille. Moduulikehikot on hitsattava tarkasti ja suoraan. Jotta moduulit voivat asettua oikeille kohdille putkiin nähden, on kaikki aina kokoamisvaiheessa käytössä olevat pulttireiät porattava 1–2 mm kiinnityspulttia suuremmaksi. Näin moduulit voivat hieman elää hakiessaan paikkaansa kiinnityspulttien muttereita kiristettäessä.

Moduulien paino tulee jalaksien päälle, ei pulttien varaan. Jalakset taas ovat suoraan lattialla. Tämä lisää turvallisuutta ja antaa mahdollisuuden kiinnittää jalaksien alle kierrettävät tallat, joilla voidaan eliminoida lattian mahdollisesta epätasaisuudesta johtuvia haittoja.

Moduulien jalat ovat irrotettavia. Tämä helpottaa moduulien kuljettamista.

Kaikki reiät porataan moduuleissa aina keskelle huonekaluputkea läpi putken molemmista seinistä. Reiät porataan kaikissa moduuleissa mahdollisimman samoihin kohtiin. Tämä toivottavasti helpottaa moduulien rakentamista.

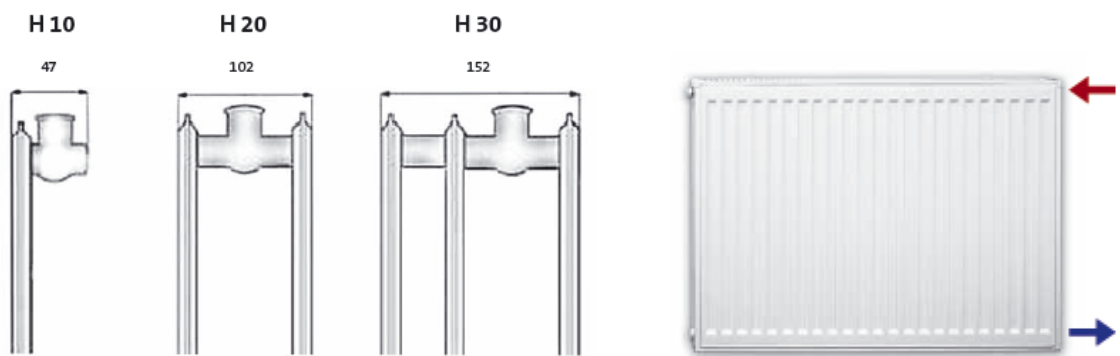
3.3 Rakennuspaikka ja käytettävissä oleva tila

Koulun Leppävaaran opetusyksikön kattila-, höyry- ja ilmastointilaboratorioissa ei ollut enää yhtään tilaa, joten patteriverkoston simulointilaitteisto määrättiin suunniteltavaksi vanhan rakennuksen ilmastointikonehuoneeseen ja lattialämmityspiirit ilmastointikoneiden alle.

Käytettävissä oleva tila konehuoneen pitkällä seinällä on 7 m, lattialla 1,8 m, ja käytettävissä oleva korkeus on 2,35 m. Huoneen päätyseinälle mahtuu vielä yksi patterilinja ylä- ja alamoduuleineen. Päätyseinän alamoduulista lähtee lattialämmityspiirien meno- ja paluuputket. Tilan ovikorkeus on 1,98 metriä. Liitteenä 5 on moduulien työselostus, josta käy ilmi, millaiset moduulit suunniteltiin edellä mainittujen tietojen mukaan.

4 Lämmityspatterit

Laboratoriolaitteistoon suunniteltiin käytettäväksi Purmo Oy:n lämmityspattereita. Tasapainotuksen lisäksi oli tarkoitus ottaa huomioon lämmönluovutuksen mittaaminen patterityyppiä valitessa. Siksi päädyimme Purmo Hygiene -malliin (kuva 6). Siinä ei ole konvektioripoja, joten lämpö siirtyy mahdollisimman paljon säteilemällä ympäristöön. Tämä on hyvä asia, sillä moduulissa lämmityspatterit joudutaan asentamaan aina siten, että kaksi patteria on päällekkäin. Ensiksi suunnittelimme käytettäväksi H10-mallia, joka on yksilevyinen patteri, mutta sitten piti kasvattaa virtaamia niin paljon, että valitsimme kaksilevyiset patterit moduuleihin.



Kuva 6. Purmo Hygiene -lämmityspatterit [5]

Lämmityspatterit mitoitettiin Purmon excel-pohjaisella mitoitusohjelmalla. Kun lämmitysverkostoon suunniteltiin 8 kappaletta pattereita, saatiin niiden kokonaislämmityshontarpeeksi yhteensä 4 600 W.

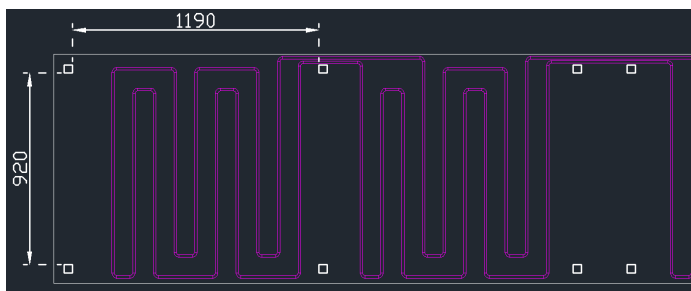
5 Lattialämmitys

5.1 Lattialämmityksen suunnittelu

Lattialämmityksen tasapainotuksen harjoittelu päätettiin sisällyttää laboratoriolaitteistoon, joten kävimme mittaamassa IV-konehuoneessa sille sopivan asennuspaikan. Sitten piirsimme Autocadilla mittojen mukaisen kuvan, johon aloimme suunnitella lattialämmityspiirejä. Valitsimme ensiksi lattiapiirien määräksi 3 kappaletta, jotta tasapainotustyötä olisi riittävästi. IV-konehuoneessa tilaa oli rajoitetusti lattialla, joten putket päätettiin sijoittaa keskusilmastointikoneiden alle turvallisuussyistä. Lattialämmityksen suunnittelu oli sikäli haastavaa, että sillä piti myös pystyä mittaamaan lämmönluovutusta. Koska putkistoa ei asennettaisi betonivalun tai muun sellaisen sisään, tulisi lämmönluovutukseksi vain eristämättömän putken lämpöhäviöt ilmaan.

Lattialämmityksen suunnittelun lähtökohtana oli siitä ohjeita antava LVI-kortti numero 13–10261. Putkimateriaaliksi oli vaihtoehtona kupari tai muovi. Ensiksi ajateltiin muoviputkea, mutta koska sen taivutussäteen piti olla vähintään 8 kertaa ulkohalkaisija, valittiin mieluummin kupariputki, jonka taivutussäde oli 4 kertaa ulkohalkaisija. Valitsemalla 12 mm:n kupariputki pystyttiin käyttämään 100 mm:n asennusväliä ja tätä kautta kasvattamaan lämmönluovutusala huomattavasti. [6, s. 4–8.]

Tavoitteena oli piirtää putkisto siten, että sen pystyisi myös asentamaan IV-koneiden alle. Tämä ei ollut aivan helppoa, sillä IV-koneissa oli tukijalkoja lähes metrin välein, jotka piti ottaa huomioon tulevaa asennusta ajatellessa. Pystyimme kuitenkin käyttämään koneiden alla olevan pinta-alan tehokkaasti rivijakomallilla, jonka löysimme LVI-kortista (kuva 7) [6, s. 2].



Kuva 7. Lattialämmityspiiri suunniteltuna IV-koneen alla.

Koska lattialämmitystä ei voitu suunnitella asennettavaksi jonkin lattiamateriaalin sisään, täytyi putken lämpöhäviöt laskea tarkasti. Tämä laskelma on esitetty luvussa 6 *Putkiston lämpöhäviöt*. Putket pyrittiin kuitenkin mitoittamaan vähän silmällä pitäen LVI-ohjekortin suosittelemia mitoitusarvoja, jotka näkyvät kuvasta 8. Meno- ja paluuveden mitoituslämpötilaksi valittiin 45/35 °C, joten lämpötilaeroksi tuli 10 °C. Putkien asennusväliksi valittiin 100 mm ja pisimmän lattialämmityspiirin painehäviöksi tuli 10,1 kPa. MagiCADilla tehty painehäviölaskelma on liitteessä 1.

Taulukko 1.
Lattialämmityksen ohjeellisia suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvoja.

	Suositus- arvo	Vähimmäis- arvo	Enimmäis- arvo
Menoveden lämpötila, °C	35...50 ¹⁾	25...30 ¹⁾	50 ¹⁾
Meno/paluuveden lämpötilaero, °C	5...10 ¹⁾		
Lattian pintalämpötila, °C	25...27 ²⁾	23 ²⁾	30 ²⁾
Putkien asennusväli, mm	150...200	50	300
Yhden lattialämmityspiirin painehäviö, kPa	15...20		
Asennussyvyys, mm	40	30	70
Kiertoveden virtausnopeus			
• muoviputki, m/s	0,3	0,1	1,0
• kupariputki, m/s	0,3	0,1	0,8
Maanvaraisen betonilaatan eristyspaksuus (polystyreeni), mm	100 ³⁾		

Kuva 8. LVI-ohjekortin suosittelemia mitoitusarvoja lattialämmitykselle [6, s. 4]

5.2 Lattialämmityspiirien jakeluputkien eristäminen

Lattialämmityspotket piti alun perin asentaa moduulista katsottuna lähimpien IV-koneiden alle, mutta se ei ollutkaan mahdollista. IV-koneiden lämmityspatterien putki-kytkennät olivat tuettuja maahan juuri asennuspaikan kohdalta. Siksi jouduttiin valitsemaan kauempana olevat IV-koneet. Pidentyneen matkan vuoksi jakeluputket (liite 1, s. 5) suunniteltiin eristettäväksi 13 mm:n solukumimuovilla.

5.3 Lattialämmitysjärjestelmään suunnitellut tilaajan erityistoiveet

Jokaiseen lattialämmityspiiriin asennetaan yksi linjasäätöventtiili, josta voidaan muuttaa putkiston painehäviötä halutun suuruiseksi. Lisäksi jokaiseen piiriin asennetaan ns. ”vuotoventtiili”, jolla voidaan aiheuttaa tarkoituksellisesti vuotoja käytännön harjoituksia varten.

6 Putkiston lämpöhäviöt

6.1 Lämpöhäviölaskennan teoriaa

Koska laboratoriolaitteiston kupariputket suunnitellaan eristämättömiksi, ne hukkaavat suhteellisen paljon lämpöä. Tämä voi johtaa siihen, että pattereille ei saada haluttua 70-asteista vettä. Siksi putkiston aiheuttamat lämpöhäviöt on hyvä laskea tarkasti. On myös syytä tarkastella, minkä lämpöistä vettä menee kaukaisimmalle patterille.

Lämpöhäviöt kuparista putkimetriä kohti lasketaan seuraavalla kaavalla [2, s. 210–211]

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s \pi d_s} + \frac{1}{2\pi \lambda_{cu}} \cdot \ln \frac{r_u}{r_s} + \frac{1}{\alpha_u \pi d_u}} \cdot (T_v - T_u)$$

$\phi_{häv}$ on putken lämpöhäviö

L on putkipituus

α_s on lämmönsiirtokerroin vedestä putken sisäpintaan

α_u on lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnasta ilmaan

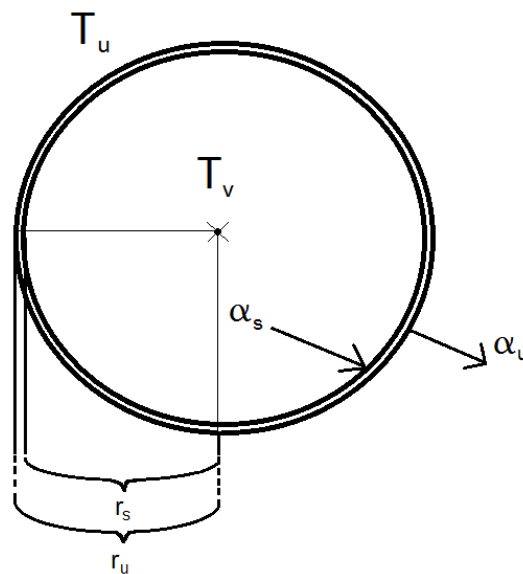
λ_{cu} on kuparin lämmönjohtavuus

T_v on putkessa virtaavan veden lämpötila

T_u on ympäröivän tilan lämpötila

r_s ja r_u on putken sisä-, ja ulkosäde

d_s ja d_u on putken sisä-, ja ulkohalkaisija



Kuva 9. Kupariputken poikkileikkaus

Kuva 9 havainnollistaa lämmönsiirtokertoimia ja muita kaavoissa tarvittavia tietoja. Lämmönsiirtokerroin α_s on suuri, sillä lämpö siirtyy vedestä kupariin, minkä vuoksi termistä $\frac{1}{\alpha_s \pi d_s}$ tulee hyvin pieni ja sen vaikutus on vähäinen lopputuloksen kannalta [2, s. 211]. Sitten lämpö siirtyy kupariseinämän sisällä kohti ulkopintaa, minkä jälkeen lämpö siirtyy ulkopinnasta ympäristöön. Tämä lämmönsiirtokerroin α_u on merkittävin laskennan kannalta, sillä siinä kohtaa lämmön siirtyminen hidastuu merkittävästi. Käytännöllisyyden vuoksi laskelmissa on ajateltu putken ulkopinnan lämpötilana virtaaman veden lämpötilaa T_v , sillä tästä ei tule merkittävää virhettä lopputulokseen.

Lämmönsiirtokertoimen α_u laskenta

Lämmönsiirto putken ulkopinnalta ympäristöön tapahtuu konvektiolla ja säteilemällä, joten kokonaislämmönsiirtokerroin on näiden summa [2, s. 211].

$$\alpha_u = \alpha_{u,kon} + \alpha_{u,sät}$$

$\alpha_{u,kon}$ on konvektion lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla

$\alpha_{u,sät}$ on säteilyn lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla

Konvektion lämmönsiirtokerroin lasketaan seuraavalla kaavalla [2, s. 211]

$$\alpha_{u,kon} = 1,25 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_v - T_u}{d_u}}$$

Säteilyn lämmönsiirtokerroin lasketaan seuraavalla kaavalla [7, s. 7]

$$\alpha_{u,sät} = \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot \frac{T_v^4 - T_s^4}{T_v - T_s}$$

ε_p on putken ulkopinnan emissiivisyys

σ on Stefan-Boltzmannin säteilyvakio

T_s on ympäröivien pintojen keskilämpötila

Säteilyn lämmönsiirtokertoimen laskentakaavassa oletetaan, että putkea ympäröivien pintojen pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin putken ulkopinnan pinta-ala. Sama asia on todistettu alla olevassa kaavassa. Kuitenkin jos putki on esimerkiksi roilossa, täytyy putken emissiivisyys ε_p korvata putken ja roilon pintojen välisellä emissiivisyydellä ε .

Putken ulkopinnan emissiivisyys ratkaistaan seuraavasta kaavasta [2, s. 211]

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{A_p}{A_s} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_s} - 1\right)}$$

ε on putken ja ympäristön välinen emissiivisyys

ε_s on putkea ympäröivän tilan pintojen emissiivisyys

A_p on putken ulkopintojen pinta-ala

A_s on putkea ympäröivien pintojen pinta-ala

Putken ja ympäristön välinen emissiivisyys on käytännössä yhtä suuri kuin putken ulkopinnan emissiivisyys, sillä termistä $\frac{A_p}{A_s} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_s} - 1\right)$ tulee lähes nolla. Säteilyn lämmönsiirtokertoimen laskennassa voidaan siten ajatella, että $\varepsilon = \varepsilon_p$, joten putken ulkopinnan emissiivisyytenä voidaan suoraan käyttää mitattuja emissiivisyyksiä kupariputkelle.

6.2 Lämpöhäviölaskelmat

Lämpöhäviölaskelmissa on käytetty lämmönsiirtokertoimen α_s arvona lukua 500, mutta ihan hyvin luvuksi voitaisiin valita vaikka 1 000, tai suurempikin, koska lämmönsiirto-kerroin on niin suuri veden ja metallin välillä.

Kuparin säteilylämmönsiirtokertoimen laskennassa on käytetty muovitekniikka-alan opinnäytetyötä, jossa on tutkittu lämpökameralla eri materiaalien emissiivisyyksiä. Kupariksi on valittu laadultaan käsittelemätön kupari, jonka emissiivisyys, välillä 40–70 °C, on 0,48...0,36 [8, s. 18].

6.2.1 Patteriputkiston lämpöhäviöiden laskenta

Patteriputkiston menoputkihäviöiden laskenta, linjat 1–4

Ensiksi lasketaan $\alpha_{u,kon}$

$$\alpha_{u,kon} = 1,25 \cdot \sqrt[4]{\frac{70^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}}{18 \cdot 10^{-3}\text{m}}} = 9,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Seuraavaksi lasketaan $\alpha_{u,sät}$

$$\alpha_{u,sät} = 0,36 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}^4} \cdot \frac{(273,14^{\circ}\text{C} + 70^{\circ}\text{C})^4 - (273,14^{\circ}\text{C} + 21^{\circ}\text{C})^4}{70^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}} = 2,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Sitten lasketaan lämpöhäviöt putkimetriä kohti

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{\frac{1}{500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \pi \cdot 16 \cdot 10^{-3}\text{m}} + \frac{1}{2\pi \cdot 393 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \ln \frac{9\text{mm}}{8\text{mm}} + \frac{1}{\alpha_u \pi d_u}}} \cdot (T_v - T_u)$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} + 0,000048 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} + \frac{1}{\left(9,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + 2,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) \pi \cdot 18 \cdot 10^{-3}\text{m}}} \cdot (70 - 21)^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} + 0,000048 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} + 1,51 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \cdot 49^{\circ}\text{C} = 0,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \cdot 49^{\circ}\text{C} \approx 31,9 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = 31,9 \frac{\text{W}}{\text{m}} \rightarrow \phi_{häv} = L \cdot 31,9 \frac{\text{W}}{\text{m}} = 17,4\text{m} \cdot 31,9 \frac{\text{W}}{\text{m}} \approx 555 \text{ W}$$

Putkiston lämpöhäviöiden vaikutus menoveden lämpötilaan

Taulukossa 1 on tarkasteltu veden jäähtymistä matkalla kaukaisimmalle patterille. Siitä nähdään, että veden loppulämpötila on noin 65,8 astetta.

Taulukko 1. Veden jäähtyminen kaukaisimmalle patterille

Putkisto-osa	putkimetrit m	virtaama l/s	lämpöhäviöt W	veden lämpötila °C	jäähtyminen °C
lämmönjakohuone	2,3	0,033	73	69,47	0,53
linja 1–2	1,8	0,023	57	68,87	0,59
linja 2–3	2,1	0,011	66	67,47	1,40
kaukaisin patteri	1,5	0,007	47	65,84	1,64

Patteriputkiston paluuputkihäviöiden laskenta linjoilla 1–4 esitetään liitteessä 1.

Laskennan tulokseksi saatiin 132 W.

6.2.2 Lattialämmitysputkiston lämpöhäviöiden laskenta

Koska lattialämmityksen lämpötilat ovat 45/35 °C, on helpompaa ja lähes yhtä tarkkaa laskea lämpöhäviöt 40 °C:n keskilämpötilalla. Siten voidaan myös hyödyntää paluuputkihäviöiden laskelmia.

Lattialämmityspiirien laskelmat esitetään myös liitteessä 1.

Laskennan tulokseksi saatiin 1290 W.

6.2.3 Eristettyjen meno- ja paluuputkien lämpöhäviöiden laskenta

Alun perin kupariset lattialämmitysputket oli tarkoitus asentaa hyvin lähelle jakotukkeja, mutta koska niiden paikkaa jouduttiin siirtämään asennusvaikeuksien vuoksi, päätettiin osa putkista eristää 13 mm:n solukumimuovilla. Tämä myös vähensi huomattavasti lämpöhäviöitä ympäristöön. Kupariputken eristeenä on 13 mm:n solukumimuovi, jonka lämmönjohtavuus on 0,036 W/m°C.

Eristettyjen meno- ja paluuputkien lämpöhäviöiden laskelmat ovat esitetty liitteessä 1 sivulla 3.

Laskennan tulokseksi saatiin 501 W.

Patteriverkoston kokonaislämpöhäviöt ovat $546 \text{ W} + 132 \text{ W} \approx 680 \text{ W}$

Lattialämmityksen kokonaislämpöhäviöt ovat $1290 \text{ W} + 501 \text{ W} \approx 1800 \text{ W}$

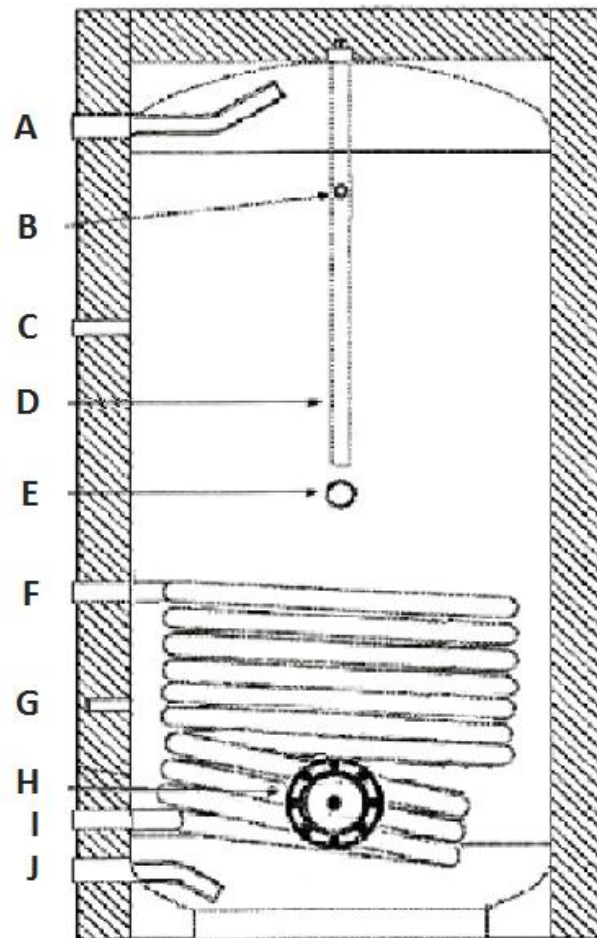
7 Lämmitysverkoston varaaja

7.1 Varaajan suunnittelu ja valinta

Aluksi suunniteltiin sähkölämmitteistä läpivirtauskattilaa veden lämmittämiseen lämmönluovutusmittauksia varten. Läpivirtauskattilan etuna on sen pieni koko ja suuri teho. Kokonsa vuoksi kevyt kattila voitaisiin kiinnittää pysyvästi lämmönjakohuonemuoduliin ja läpivirtaava paluuvesi lämmittää suoraan sen tullessa kattilaan. Näin menetellen lämmin vesi ei lopu kesken pitkänkään laboratorioharjoituksen aikana eikä sitä tarvitse lämmittää yön yli.

Lopullisessa ratkaisussa päädyttiin sähkölämmitteiseen varaajaan, sillä käytettävissä oli vain 10 A:n sulake, josta saa maksimissaan 2,3 kW. Saatavilla on enimmäkseen 2 kW:n sähkölämmitysvastuksia. Varaajasta haluttiin mahdollisimman pieni. Tällöin ongelmaksi muodostuivat pienen tehon vuoksi pienet vesivirrat ja pienet patterit, jolloin linjasäätöventtiilien toimintapisteet eivät enää yltäneet niiden käyrästöille. Toisaalta suurentamalla pattereita suuremman vesivirran saamiseksi suureni tarvittava lämmitysteho ja näin ollen myös varaajan koko.

Tilanteeseen löytyi kuitenkin ratkaisu ja sopiva varaaja, jonka maksimilämpötila on 95 °C ja sähkövastus vain 2 kW. Tarvittaessa varaajaan saa asennettua toisenkin 2 kW:n vastuksen kohtaan H kuvassa 10. Taulukossa 2 on varaajan teknisiä tietoja.



Kuva 10. Käyttövesivaraaja OEG [9]

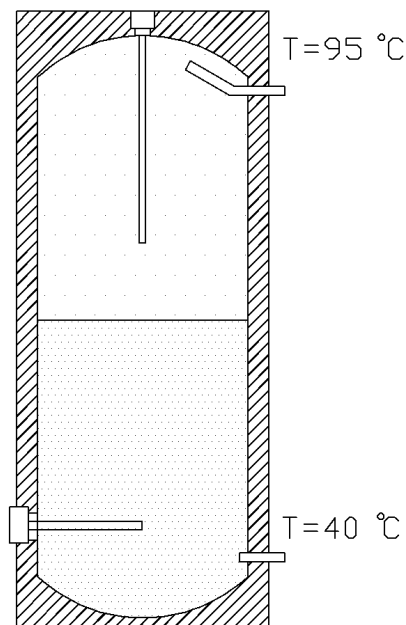
Taulukko 2. Varaajan teknisiä tietoja

OEG, kv-varaaja	
varaajatilavuus	400 l
varaajan massa	151 kg
korkeus	1700 mm
leveys	710 mm
ylin käyttölämpötila	95 °C
emaloitua terästä	DIN 4753
rakennepaine	10 bar
eristeen paksuus	55 mm
lämpöhäviöt kWh/24h	2,3

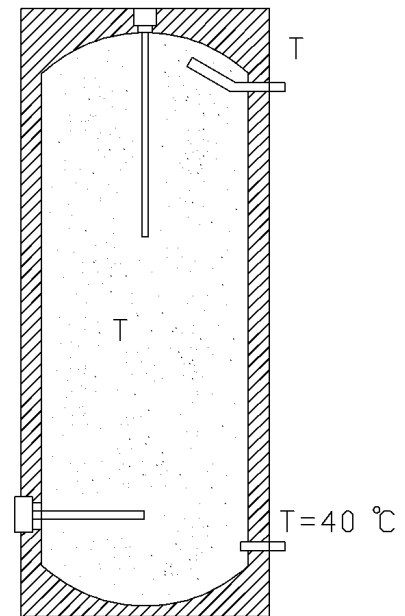
	seloste	liitântäkkoko
A	varaajasta lähtevä vesi	1" uk
B	anturi-/mittaripaikka	½" sk
C	anturi-/mittaripaikka	¾" uk
D	korroosiosuoja-anodi	
E	lämmitysvastus 2 kW	1½" sk
F	lämmin käyttövesi	1" uk
G	anturi-/mittaripaikka	Cu 15 mm
H	lisälämmitysvastus (2 kW)	1½" sk
I	kylmävesi sisään	1" uk
J	varaajaan palaava vesi	1" uk

7.2 Varaajan mitoituksen teoriaa

Varaajan mitoittaminen on enemmän kokemusperäistä kuin laskennallista, sillä veden sekoittumista varaajassa ei tiedetä. On olemassa kaksi käsitettä, joilla tarkoitetaan ihanteellisinta ja epäedullisinta varaajan tilavuutta. Ihanteellisessa varaajassa kylmän veden raja nousee sekoittumatta kuumaan veteen. Näin ollen varaajasta saadaan loppuun asti kuuminta mahdollista vettä. Epäedullisimmassa varaajassa vesi sekoittuu täysin, jolloin kaikki varaajan vesi jäähtyy tasaisesti. Ideana on, että varaajatilavuuksista valitaan jokin tältä väliltä. Jotkut varaajavalmistajat tekevät tutkimuksia ja mittauksia omille varaajilleen selvittäen veden sekoittumisen tarkemmin. Kuvat 11 ja 12 havainnollistavat lämpötilajakaumaa T jonakin ajankohtana.



Kuva 11. Ihanteellinen varaaja, jossa lämpötilaraja nousee sekoittumatta



Kuva 12. Epäedullisin varaaja, josta lähtevän veden lämpötila T on sama kuin varaajan veden lämpötila kauttaaltaan.

Varaajan mitoituksessa käytettiin seuraavia kaavoja

$$Q_{lataus} + Q_{varaaja} = Q_{purkaus}$$

Tästä saadaan

$$\phi_{lataus} \cdot t_{lataus} + V_{varaaja} \cdot c_{pv} \cdot \rho_v \cdot \Delta T_{varaaja} = \phi_{purkaus} \cdot t_{purkaus}$$

$$V_{varaaja} = \frac{\phi_{purkaus} \cdot t_{purkaus} - \phi_{lataus} \cdot t_{lataus}}{c_{pv} \cdot \rho_v \cdot \Delta T_{varaaja}}$$

$Q_{varaaja}$	on varaajan lämpöenergia
Q_{lataus}	on energia, jota ladataan varaajan sähkövastuksella
$Q_{purkaus}$	on varaajan antama käytönaikainen energia
ϕ_{lataus}	on teho, jota ladataan varaajan sähkövastuksella
$\phi_{purkaus}$	on varaajan antama käytönaikainen teho
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti
ρ_v	on veden tiheys
$\Delta T_{varaaja}$	on varaajasta lähtevän ja sinne palaavan veden lämpötilojen erotus
$V_{varaaja}$	on varaajan tilavuus
t_{lataus}	on sähkövastuksella varaajan lämmittämiseen käytettävä aika
$t_{purkaus}$	on varaajan käyttöaika

7.3 Varaajan mitoitus

Varaajan mitoitusteho on 7,1 kW, ja se muodostuu patteri- ja lattapiirien lämmityshontarpeesta sekä putkiston lämpöhäviöistä. Ajatuksena oli, että varaajasta pitäisi saada 70 °C:n lämpöistä vettä noin 3 tunnin ajan, jotta opiskelijat ehtivät tehdä rauhassa tarvittavat mittaukset. Ihanteellisessa varaajassa käytettiin lämpötilaeron 95/40 °C.

Pienin tarvittava varaajatilavuus

$$V_{varaaja} = \frac{7,1 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} - 2 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (95 - 40)^\circ\text{C}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 0,238 \text{ m}^3 \approx 240 \text{ dm}^3$$

Epäedullisinta varaajaa ei voi laskea samoin kuin ihannevaraajaa veden sekoittumisesta johtuvan jatkuvan lämpötilan muuttumisen vuoksi, vaan se pitää esimerkiksi iteroida excelillä tai laskea jollain muulla ohjelmalla. Excelillä iteroimalla saimme varaajatilavuudeksi 550 dm^3 , kun varaaja lämmitetään 95 °C :seen. Tällöin varaajan kautta kulkeva mitoitustehon vesivirta on $0,0307 \text{ l/s}$ ja varaajaan palaavan veden lämpötila on 40 °C . Varaajan käyttölämpötila on alimmillaan pattereiden tarvitsema 70 °C :n lämpötila.

Iteroinnissa annetaan ensin jokin varaajatilavuus, minkä jälkeen laskentasykliä toistetaan, kunnes varaajan vesi on saavuttanut alimman mahdollisen käyttölämpötilan. Yksi laskentasykli kuvaa aina tilannetta yhden sekunnin jälkeen. Laskentasykliä määrää vähennettynä yhdellä on käyttöaika sekunteina siihen hetkeen, jolloin saavutetaan alin mahdollinen käyttölämpötila. Muuntamalla sekunnit tunneiksi voidaan tarkistaa, täytyykö asetettu käyttöajan tavoite tunteina. Mikäli tavoite ei täyty, annetaan jokin uusi varaajatilavuus ja laskentasyklit toistetaan.

Seuraavassa on esimerkki tekemästämme iteroinnista

$$\begin{aligned}
 95 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} - 95 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} + 40 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} &= 94,997 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} \\
 94,997 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} - 94,997 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} + 40 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} &= 94,994 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} \\
 94,994 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} - 94,994 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} + 40 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} &= 94,991 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} \\
 &\vdots \\
 70,001 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l} - 70,001 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} + 40 \text{ °C} \cdot 0,0307 \text{ l} &= 69,999 \text{ °C} \cdot 550 \text{ l}
 \end{aligned}$$

Tämän jälkeen valitsimme sopivan varaajan tältä väliltä. Valittu varaaja on 400 dm^3 . Tämän kokoista varaajaa ei enää voi kiinnittää suunnittelemiimme moduulirakenteisiin, vaan se on laitettava lattialle. Koko on kuitenkin vielä siedettävä. Seuraavaksi oli syytä tarkistaa valitun varaajan latausaika eli se, montako tuntia varaajaa on lämmitettävä ennen käyttöä huonelämpöisestä 21 °C :n vedestä 95 °C :seen.

Käyttöä edeltävän latauksen kaavat

$$Q_{\text{varaaja}} = m_v c_{pv} \Delta T_{\text{läm}}$$

$$t_{\text{lataus}} = \frac{Q_{\text{varaaja}}}{\Phi_{\text{lataus}}}$$

m_v on varaajaveden massa

$\Delta T_{\text{läm}}$ on varaajan lämmityksessä käytettävän loppu- ja alkulämpötilan erotus

Latausaika ennen käyttöä

$$Q_{\text{varaaja}} = 400 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (95 - 21) ^\circ\text{C} = 124320 \text{ kJ}$$

$$t_{\text{lataus}} = \frac{124320 \text{ kJ}}{2 \text{ kW}} = 62160 \text{ s} \approx 17 \text{ h}$$

Vaikka varaajan latausaika on 17 tuntia, se ei haittaa, sillä varaajan voi laittaa lämpenemään edellisenä päivänä.

8 Linjasäätöventtiilit

8.1 Linjasäätöventtiilien kartoittaminen markkinoilta

Laboratoriolaitteistossa oli tarkoitus käyttää mahdollisimman laajalla rintamalla eri valmistajien linjasäätöventtiileitä. Taulukkoon 3 on kerätty markkinoilta löytyneitä linjasäätöventtiileitä, joista toivotaan löytyvän laitteistoon parhaiten soveltuvat venttiilit. Taulukkoa tehdessä on jo karsittu sellaiset venttiilit, jotka ovat tarkoitettut suuremmille virtaamille, tai vaativat erityistä asennustekniikkaa, kuten hitsausta tai laippaliitosta.

Taulukossa venttiilit ovat paremmuusjärjestyksessä siten, että parhaiten pieniä virtaamia säättävä venttiili on ensimmäisenä. Vertailtavana arvona on käytetty pienintä säädettävää virtaamaa, joka on määritelty siten, että venttiilin esisäätöarvo on vähintään 30 % täysin auki olevan venttiilin esisäätöarvosta. Siten saadaan selville venttiilien käytettävyyden laboratoriolaitteistossa. Venttiilin pienin säädettävä virtaama on sitten katsottu tällä venttiilin avautumalla sekä 4 kPa:n mitoituspainehäviöllä. Taulukossa on myös mainittu venttiilin virhemarginaali kyseisellä virtaamalla.

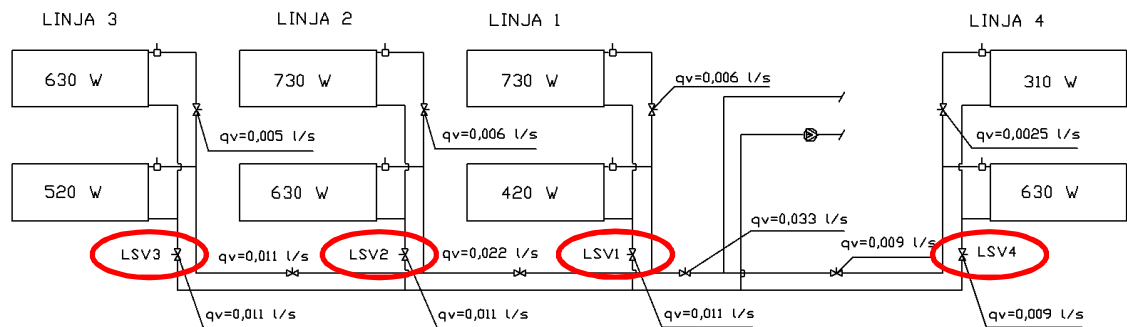
Taulukko 3. Markkinoiden parhaiten soveltuvat venttiilit laboratoriolaitteistoon.

Valmistaja	Tuote	Pienin DN-koko	Pienin säädettävä virtaama	Mittauksen virhe tällä virtaamalla
Oras	4120 LVK-venttiili	Cu 12	0,007 l/s	-
TA Hydronics	STAD	DN 10	0,02 l/s	~6–7 %
Oras	4100	DN 10	0,02 l/s	-
MMA	STV 10-50	DN 10	0,02 l/s	~9–10 %
Oventrop	Hydrocontrol R	DN 10	0,036 l/s	~7 %
Honeywell	V5032 Kombi-2-Plus	DN 15	0,047 l/s	-
Danfoss	LENO MSV-BD	DN 15 LF	0,08 l/s	~ 7–8 %

Taulukosta katsomalla laboratoriolaitteistoon soveltuisivat parhaiten Oraksen linjasäätöventtiilit sekä TA Hydronicsin valmistama STAD-linjasäätöventtiili. Myös MMA:n valmistamaa STV 10-50 -venttiiliä voidaan suositella laboratoriolaitteistossa käytettäväksi, jotta saataisiin käytännön kokemusta markkinoiden vähemmän tunnetuista linjasäätöventtiileistä. On kuitenkin huomioitava, että venttiili täytyy asentaa sellaiseen kohtaan putkistoa, jossa virtaamaa on riittävästi venttiilin säädettävyyden kannalta.

8.2 Laboriolaitteistoon soveltuvat linjasäätöventtiilit

Kuvasta 13 nähdään linjasäätöventtiilien virtaamat mitoitusstilanteessa. Linjasäätöventtiilit, jotka ovat numeroitu, osallistuvat verkoston tasapainotukseen. Ne linjasäätöventtiilit, joita ei ole numeroitu, aiheuttavat vain tietyn painehäviön verkostoon, eli ne kuvaavat verkoston putkimetrejä. Numeroitujen linjasäätöventtiilien paikalle oli tarkoitus asentaa eri valmistajien linjasäätöventtiileitä, ja numeroimattomien paikalle esimerkiksi Oraksen linjasäätöventtiileitä.



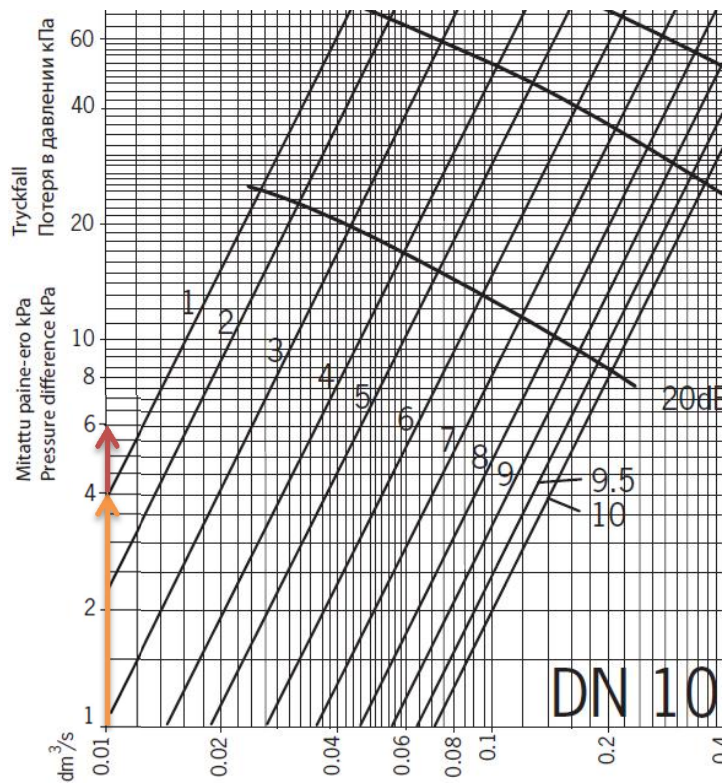
Kuva 13. Linjasäätöventtiilien mitoitusvirtaamat (punaisella tasapainotukseen osallistuvat)

Laskelmien perusteella kävi kuitenkin siten, että emme voineetkaan käyttää numeroitujen venttiilien paikoilla eri valmistajien venttiileitä. Niillä ei pystytä aiheuttamaan riittävästi painehäviötä, kun virtaama on hyvin pieni eli lähellä 0,01 litraa sekunnissa. Ainoastaan Oraksen LVK-linjasäätöventtiili pystyy toimimaan tällaisessa tilanteessa, koska siinä on erilainen venttiilipesä ja säätökara kuin muissa linjasäätöventtiileissä. Se on siis suunniteltu vain pieniä virtaamia varten.

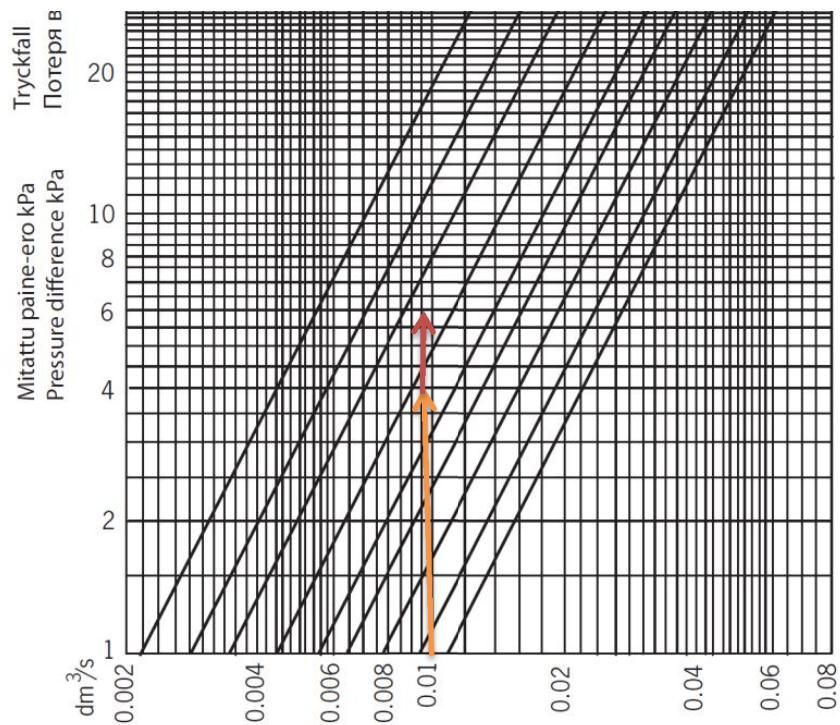
8.3 Esimerkki Oraksen venttiilien toimivuudesta laboriolaitteistossa

Kuvassa 14 on esimerkkinä Oraksen varsinaisen, lämmitysverkoston tarkoitetun linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä. Siitä nähdään, että laboriolaitteiston nousulinjan virtaamalla 0,01 l/s venttiilin painehäviöksi saadaan juuri ja juuri 4 kPa, mutta sen jälkeen venttiilin säätömahdollisuus loppuu. Tilannetta havainnollistaa kuvan oranssi nuoli. Jos tällainen venttiili haluttaisiin asentaa esimerkiksi LSV2:n paikalle, vaadittaisiin siltä vähintäänkin 6 kPa:n painehäviötä, jotta suunnitellut virtaamat toteutuisivat. Tätä tilannetta havainnollistaa punainen nuoli. Kuvassa 15 on Oraksen LVK-linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä. Kuvassa on myös nuolet havainnollistamassa

edellä mainittuja painehäviöarvoja virtaaman ollessa 0,01 l/s. Tämä venttiili on enimmäkseen käytössä laboratoriolaitteistossa pienten virtaamien vuoksi.



Kuva 14. Oras 4100 -linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä [3]

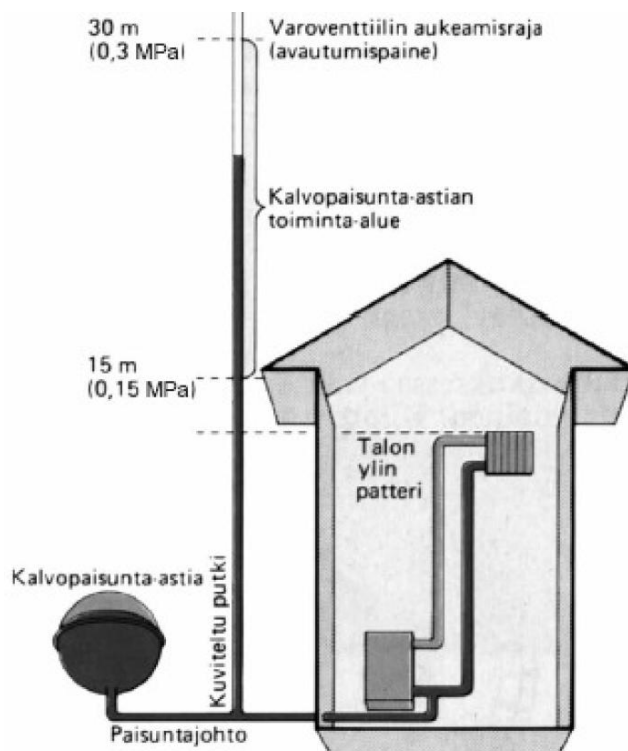


Kuva 15. Oras 4120 LVK (Cu 12) -linjasäätöventtiilin painehäviökäyrästä

9 Paisunta-astia

Laboratoriolaitteistoon tarvitaan paisunta-astia, sillä vesi laajenee lämmitessään. Ilman paisunta-astiaa verkoston paine nousisi hallitsemattomasti ja voisi aiheuttaa jonkin laitteen hajoamisen. Pahimmassa tapauksessa kuuma vesi voisi purkautua yllättäen kovalla paineella ja näin aiheuttaa vaaratilanteen ihmisille. Paisunta-astian lisäksi tarvitaan myös varoventtiili. Varoventtiili päästää verkostosta vettä siinä tapauksessa, että paisunta-astia ei enää pysty ottamaan sitä vastaan enempää halkeamatta. Paisunta-astialla voidaan lisäksi varmistaa, että verkoston ylimmät patterit ovat täynnä vettä, mikäli se on sijoitettu oikein. Lämmitysjärjestelmissä käytetään yleensä suljettuja kalvopaisunta-astioita.

Kuvassa 16 paisunta-astia sijaitsee rakennuksen kellarissa. Paisuntajohdosta nouseva kuvitteellinen putki on paine, joka vaikuttaa kalvopaisunta-astiassa olevaan kalvoon. Kalvon toisella puolella on verkoston vesi ja toisella puolella paineen vastaanottava typpikaasu. Kuvasta voidaan nähdä, että paisunta-astian esipaineeksi on valittu 150 kPa (0,15 MPa). Tämä varmistaa sen, että ylin patteri on täynnä vettä. Kalvopaisunta-astian toiminta-alue on astian rakennepaineen ja esipaineen erotus.



Kuva 16. Suljettu kalvopaisunta-astia lämmitysverkostossa [10, s. 2]

Kalvopaisunta-astian mitoittaminen [10, s. 3]

$$V = \left(\frac{a \cdot V_0}{100} + V_{WR} \right) \cdot \frac{1}{\frac{p_a - p_e}{p_a}}$$

V on kalvopaisunta-astian tilavuus

V_0 on verkoston vesitilavuus

V_{WR} on tarvittava varatilavuus

a on lämpölaajenemiskerroin

p_a on varoventtiilin absoluuttinen avautumispaine

p_e on kalvopaisunta-astian absoluuttinen esipaine

Paisunta-astian vesitilavuuteen kuuluu putkiston, pattereiden ja varaajan vesitilavuudet. Näiden kokonaisvesitilavuus on 498 litraa. Lämpölaajenemiskerroin on laskettava näiden vesitilavuuksien ja vesien keskilämpötilojen mukaan, siten että varaajan lämpötila on 95 °C kauttaaltaan, pattereiden lämpötila keskimäärin 55 °C ja putkiston lämpötilat 55 °C ja 40 °C keskimäärin. Tästä saadaan verkoston keskimääräinen lämpölaajenemiskerroin, joka on noin 3,4 %.

Paisunta-astian tilaavuus täytyy laskea ensin ilman tarvittavaa varatilavuutta, sillä varatilavuuden laskennassa tarvitaan tietää paisunta-astian tilavuus. Tämän jälkeen voidaan määrittää varatilavuus ja lisätä se kaavan, jotta saadaan oikeankokoinen paisunta-astia.

Varatilavuus V_{WR} määritetään seuraavasti [11]

- jos $V < 15 \text{ dm}^3$ → $V_{WR} \geq 0,2 \cdot V$
- jos $V \geq 15 \text{ dm}^3$ → $\begin{cases} V_{WR} \geq 0,005 \cdot V \\ V_{WR} \geq 3 \text{ dm}^3 \end{cases}$

Paisunta-astian esipaine valitaan siten, että se on noin 30...50 kPa suurempi kuin verkoston hydrostaattinen paine [10, s. 3]. Hydrostaattinen paine aiheutuu verkoston korkeuserosta, ja se on yhtä suuri kuin vastaavankorkuisen vesipatsaan paine. Varoventtiilin avautumispaine taas määräytyy verkoston heikoimman rakenteen mukaan. Heikoin rakennepain on muovisessa (PVC) rotametrissä, josta voidaan lukea verkoston vir-

taama silmämääräisesti. Valmistajan ilmoittama paineenkesto laitteistoon valitulle ro-
tametrille on 10 baaria 20 °C:ssa, mutta se romahtaa noin 2,5–3 baariin, kun lämpötila
kohoaa 70 °C:seen. Varoventtiilin avautumispaineeksi valitaan täten 2,5 baaria.

Paisunta-astian tilavuuden laskeminen:

Paisunta-astiaksi on valittu EMS:n kalvopaisunta-astia, jonka esipaine on 0,7 (kuva 17).

$$V = \left(\frac{3,4 \% \cdot 498 \text{ dm}^3}{100} \right) \cdot \frac{1}{\frac{3,5 \text{ bar} - 1,7 \text{ bar}}{3,5 \text{ bar}}} \approx 33 \text{ l}$$

$$V \geq 15 \text{ dm}^3 \rightarrow \begin{cases} V_{WR} \geq 0,005 \cdot V = 0,005 \cdot 498 \text{ l} = 2,5 \text{ l} \\ V_{WR} \geq 3 \text{ dm}^3 \end{cases}$$

Varatilavuus V_{WR} on siis 3 dm³, ja arvo lisätään kaavaan sulkujen sisään

$$V = \left(\frac{3,4 \% \cdot 498 \text{ dm}^3}{100} + 3 \text{ dm}^3 \right) \cdot \frac{1}{\frac{3,5 \text{ bar} - 1,7 \text{ bar}}{3,5 \text{ bar}}} \approx 39 \text{ l}$$

Täten tarvittava paisunta-astian koko on 39 litraa. Paisunta-astiaksi valitaan siis koko,
joka on suurempi kuin 39 litraa, eli 40 litraa. Mikäli ulkomitat tuntuvat liian suurilta,
voidaan moduuliin asentaa kaksi pienempää paisunta-astiaa, jotka ovat yhdessä 40 l.



Mitat				
Malli	Tuote	Tilavuus l	Korkeus mm	Halkaisija mm
Kalvopaisunta-astia 12 l	P2806	12	366	229
Kalvopaisunta-astia 18 l	P2808	18	363	279
Kalvopaisunta-astia 25 l	P2810	25	451	290
Kalvopaisunta-astia 40 l	P2812	35	424	390
Kalvopaisunta-astia 60 l	P2814	60	521	390

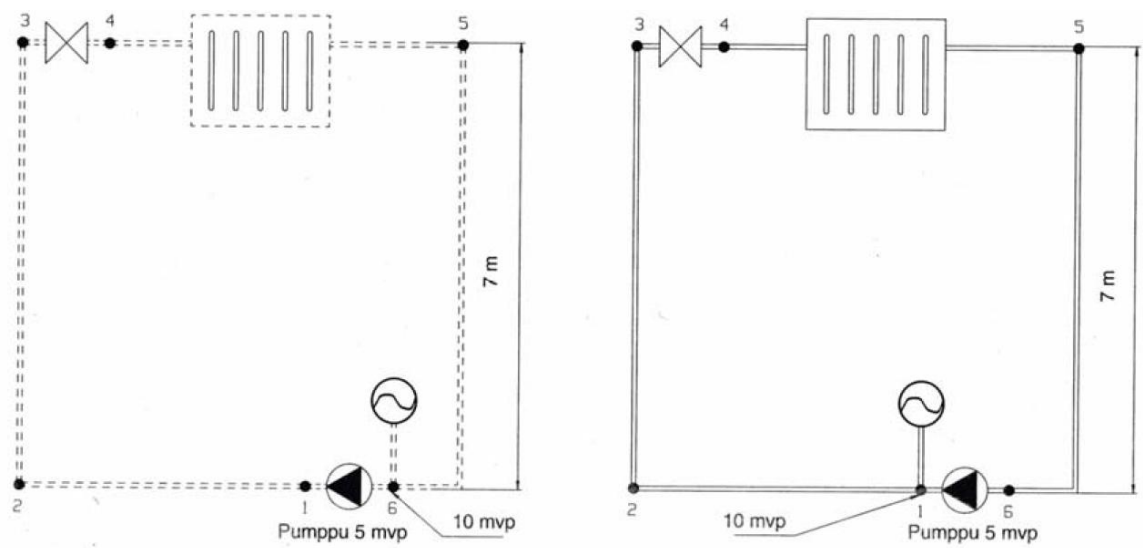
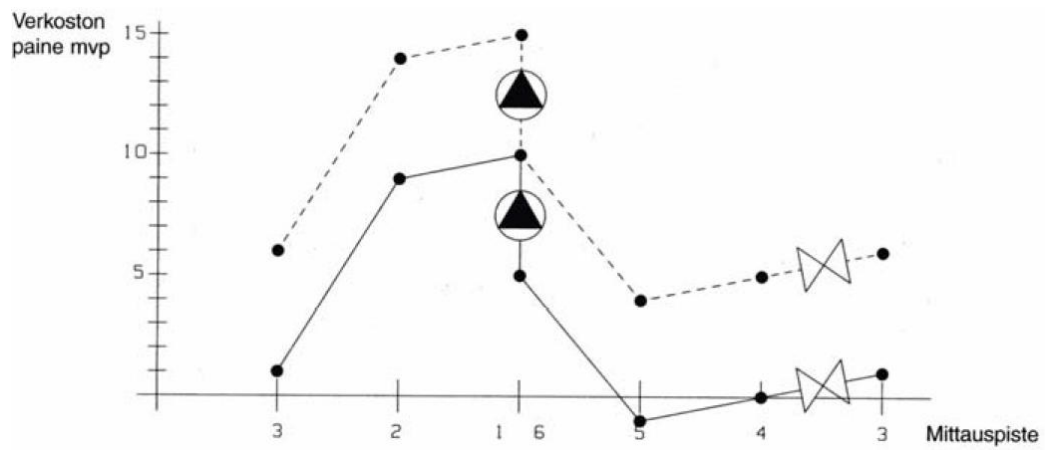
Kuva 17. EMS-kalvopaisunta-astia ja sen ulkomitat [12]

9.1 Paisuntasäiliön ja varoventtiilin asennus

Paisuntasäiliön yhteyteen asennetaan varoventtiili ja painemittari. Varoventtiilissä on ulosmenoputki, josta vesi pääsee valumaan lattiakaivoon tai muuhun sellaiseen. Laboriolaitteistossa on niin pieni vesitilavuus ja teho, että pienin markkinoilla oleva varoventtiili sopii tarkoitukseen. Asennuksessa täytyy vain ottaa huomioon, että sulkuventtiiliä ei asenneta varoventtiilin ja paisunta-astian väliin. Painemittari on hyvä olla paisunta-astian yhteydessä, että voidaan havaita sen toimivuus. Paisunta-astia asennetaan siten, että sen voi sulkuventtiilien avulla kytkeä vaihtoehtoisesti joko pumpun imu- tai painepuolelle (liite 2).

9.2 Paisunta-astian asennus pumpun imu- sekä painepuolelle

Kuvasta 18 käy ilmi, että paisunta-astian ollessa pumpun *imupuolella* verkoston staattinen paine kasvaa pumpun jälkeen arvosta 10 mvp arvoon 15 mvp. Tämä tarkoittaa sitä, että pumpun staattinen paine (5 mvp) on summutunut verkoston paisunta-astian esipaineen (10 mvp) kanssa. Jos taas paisunta-astia kytketään pumpun *painepuolelle*, niin nähdään, että pumpu ei enää pysty korottamaan verkoston staattista painetta riittävästi. Tämä johtuu siitä, että paisunta-astia aiheuttaa suuremman paineen, joka kumoaa pumpun aiheuttaman paineen. Nyt kun tarkastellaan verkoston staattista painetta kohdassa 5, huomataan, että se on pienempi kuin ilmanpaine. Tästä syystä tulee välttää paisunta-astian sijoitusta painepuolelle, sillä se voi aiheuttaa alipaineen verkoston ylimpiin osiin ja tätä kautta mahdollistaa ilman kulkeutumisen putkistoon. [13, s. 5–7.]

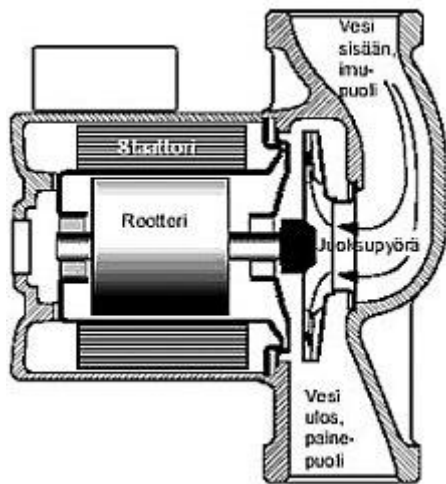


Kuva 18. Verkoston painetasot, kun paisunta-astia on pumpun imupuolella (- - -) tai painepuolella (—) [13, s. 6]

10 Lämmitysverkoston kiertovesipumput

10.1 Yleistä kiertovesipumpuista

Lämmitysverkoston kiertovesipumppu saa putkistoon aikaan tietyn paine-eron ja virtaaman. Tätä pumpun aiheuttamaa paine-eroa kutsutaan yleensä nostokorkeudeksi tai painetuotoksi. Pumppu valitaan siten, että se pystyy kierrättämään jokaisen kulutuspiirteen kautta halutun määrän vettä ja tuottamaan riittävästi painetta voittaakseen verkoston virtausvastuksen. Lämmitysverkostojen pumpput ovat lähes poikkeuksetta keskipakopumppuja, jotka voivat olla joko märkä- tai kuivamoottorisia. Kuva 19 on leikkaus keskipakopumpusta.



Kuva 19. Keskupakopumpun leikkaus [14]

Keskupakopumpun tärkeimmät osat ovat sähkömoottori ja juoksupyörä sekä niitä yhdistävä akseli. Sähkömoottorissa virta aiheuttaa roottorin pyörimisliikkeen, joka puolestaan pyörittää juoksupyörää. Pumpussa voi olla valittavana useampia kierrosnopeuksia, mikä on voitu toteuttaa yksinkertaisesti lisäämällä käämityksien määrää roottorissa. Nykyään pumpussa käytetään myös taajuusmuuttajalla toteutettua kierrosnopeuden säätöä. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää portaattomasti moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia [15].

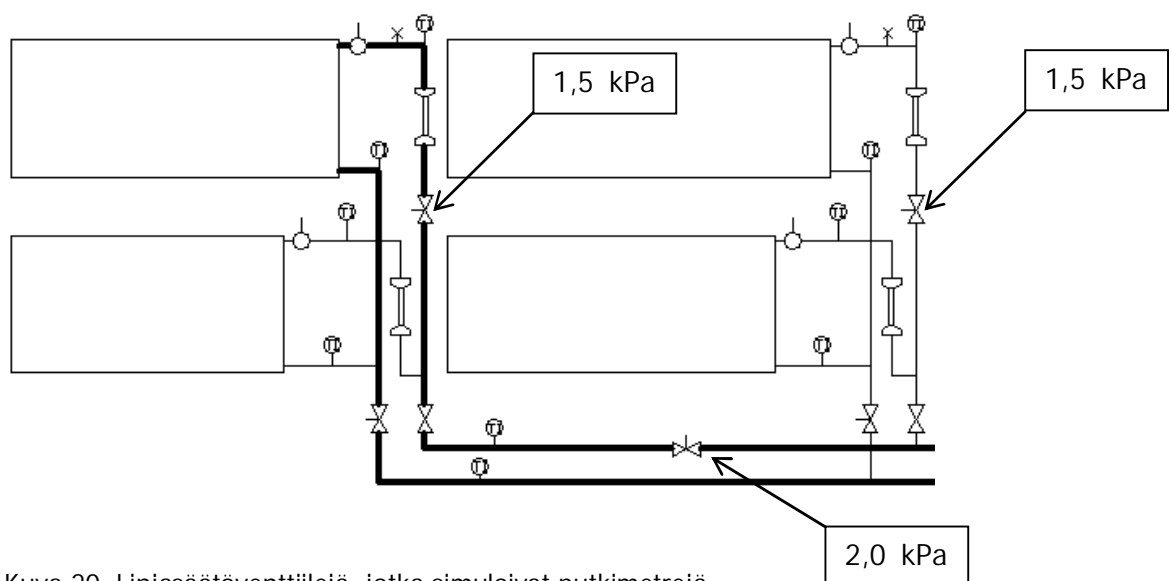
Kiertovesipumpun mitoitusperiaatteena on se, että pumppu jaksaa kuljettaa mitoitusvirtaaman virtausteknisesti vaikeimman reitin kautta. Tällöin pumppu pystyy toimimaan varmasti myös muitten kiertopiirien kautta suunnitellun määrän vettä. Tällaisen

optimaalisen toiminnan ehtona on kuitenkin se, että verkosto on tasapainossa. Pumpun mitoitus varten täytyy siis tietää, mikä on verkoston virtausteknisesti vaikein reitti. Tämän reitin painehäviö mitoitusvirtaamalla on suoraan pumpun tarvittava nostokorkeus.

10.2 Verkoston painehäviölaskelma

Putkisto on suunniteltu kupariputkesta ja se on mitoitettu väljäksi, eli sen kitka-painehäviöt ovat enintään 50 Pa/m. Tasapainotukseen osallistuville linjasäätöventtiileille ja patteriventtiileille on varattu 4 kPa painehäviötä. Linjasäätöventtiileille suositellaan käytettäväksi vähintään 3 kPa painehäviötä hyvän mittaustarkkuuden saavuttamiseksi [16, s. 20]. Laitteiston suunnittelussa päädyttiin tästä hieman korkeampaan lukemaan säätövaran parantamiseksi. Lisäksi verkostoon on suunniteltu kertasäätöventtiileitä, joilla aiheutetaan painehäviötä simuloimaan kuvitteellisia putkimetrejä. Ne mitoitettiin siten, että putkiston korkeudeksi ajateltiin 6 asuinkerrosta ja kellarissa menevien nousulinjojen vaakasuoraksi etäisyydeksi 20 metriä. Laskelmissa käytettäessä kitka-painehävionä 50 Pa/m ja ottaen mukaan meno- sekä paluuputki, saatiin nousulinjan venttiilille 1,5 kPa painehäviötä ja vaakalinjan venttiilille 2,0 kPa (kuva 20).

Painehäviölaskelma tehtiin pääpumpulle sekä lattiapiirien pumpulle käsin käyttäen apuna Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Laskelmat ja niihin liittyvät kuvat ovat liitteessä 3. Virtausteknisesti vaikein reitti oli kauimmaisessa patterissa, mikä oli odotettavissa.



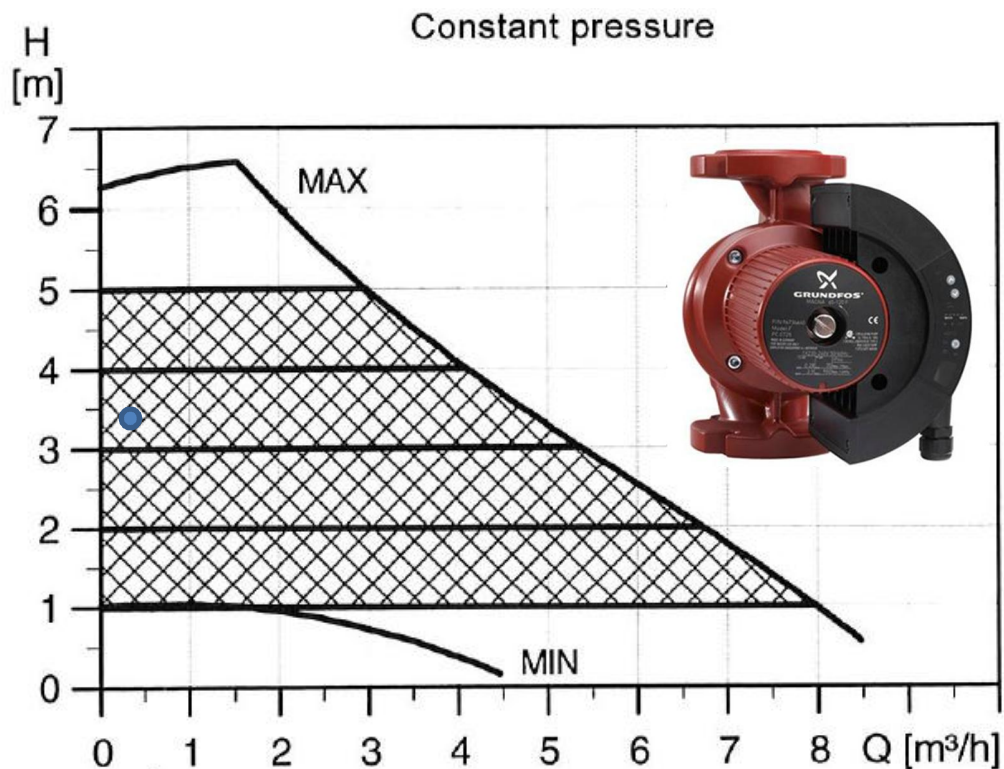
Kuva 20. Linjasäätöventtiilejä, jotka simuloivat putkimetrejä

10.3 Valitut kiertovesipumput

Pumpuiksi valittiin Grundfosin Magna 25-60 -kiertovesipumput. Magna-pumpulla pystytään säätämään pumpun nostokorkeutta 1 kPa:n tarkkuudella kaukosäätimestä. Sillä pystytään myös pitämään vakiopainetta verkostossa, vaikka virtaus muuttuisi. Kuvaan 21 on merkitty pumpun toimintapiste sinisellä pisteellä. Kuvassa on esitelty myös vakioainesäädön toiminta, eli virtaaman muuttuessa pumpun muuttaa constant pressure -toiminnolla kierrosnopeuttaan, jotta paine pysyisi vakiona. Pumpun on opinnäytetyötä tehdessä uusinta mallia, ja siinä on useita toimintoja mukaan lukien joitakin ohjelmointimahdollisuuksia. Pumpulla on myös suhteellisen säädön toiminto, jolla se pystyy hakemaan parasta toimintapistettä aina verkostokohtaisesti. Kaukosäätimellä on mahdollisuus nähdä virtaama. Grundfos suositteli tätä pumpua laboratoriolaitteistoon.

Patteriverkoston pääpumppu (P1)

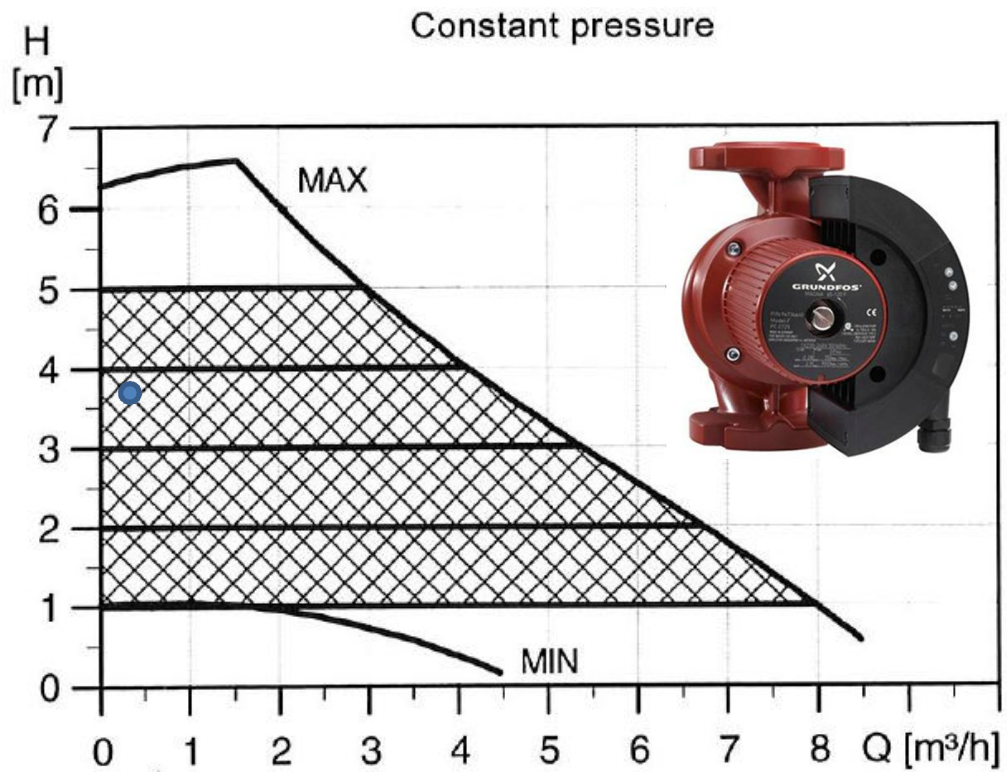
Pääpumpun nostokorkeudeksi saatiin painehäviölaskelman perusteella 33,4 kPa mitoitusvirtaamalla 0,11 l/s.



Kuva 21. Magna 25-60 -kiertovesipumpun mitoituskäyrästä [17]

Lattialämmitysverkoston kiertopumppu (P2)

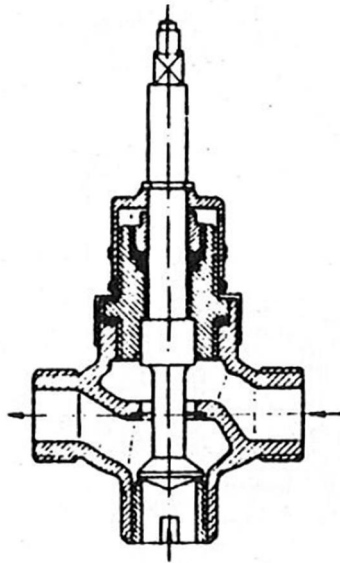
Pumpun nostokorkeudeksi saatiin painehäviölaskelman perusteella 36,8 kPa mitoitusvirtaamalla 0,1 l/s (kuva 22). Pumpuksi valittiin myös Grundfosin Magna 25-60 -kiertovesipumppu sen hyvien säätöominaisuuksien vuoksi.



Kuva 22. Magna 25-60 -kiertovesipumpun mitoituskäyrästä [17]

11 Sekoitusventtiilit

Sekoitusventtiili on yleensä kolmitieventtiili (kuva 23). Sen tehtävänä on sekoittaa jäähdytystä paluuvettä, kuuman, juuri lämmön lähteestä tulleen menoveden sekaan. Näin saadaan sopivan lämpöistä vettä lämmitysverkostoon. Kolmitieventtiilin sisällä on venttiilikara, jonka liikuttamiseen tarvitaan toimimoottori. Toimimoottoria ohjataan automaatiolla. Mikäli sekoitusventtiili on omavoimainen, ei toimimoottoria ole, vaan sen paikalla on lämpölaajenemiseen perustuva termostaattiosa.



Kuva 23. Sekoitusventtiilin leikkaus [2, s. 132]

11.1 Laitevalintoja

Aluksi ajattelimme valita omavoimaiset sekoitusventtiilit verkoston lämmönjakohuonemuoduuliin. Keskusteltuamme valmistajien kanssa kävi kuitenkin ilmi, että omavoimaisiin sekoitusventtiileihin jää aina p-säädölle tyypillinen pysyvä poikkeama. Tällainen poikkeama ei kuitenkaan ole hyväksyttävä laboratoriolaitteistossa, jossa lämpötilojen mittaustarkkuuskin on pyydetty 0,5 °C. Valitsimme lämmitysverkostoon Esben VRG131-tyyppin sekoitusventtiilit. Näihin valitsimme Oumanin EH-800-lämmönsäätimet integroituna toimimoottoreilla (kuva 24). Lämmönsäätimet saa asetettua siten, että ne mittaavat sekoitetun veden lämpötilaa sekä kääntävät venttiilikaraa sen mukaan.



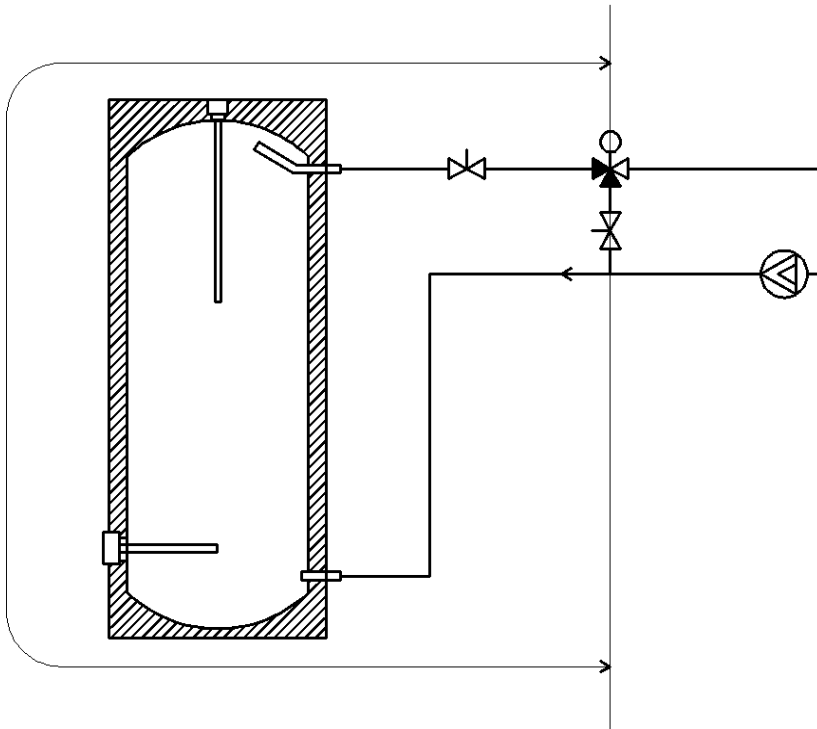
Kuva 24. Esben VRG131-tyypin sekoitusventtiili ja Oumanin EH-800-lämmönsäädin

11.2 Sekoitusventtiilin mitoituksen teoriaa

Kun sekoitusventtiili on täysin auki, venttiilin kara on liikkunut sellaiseen asentoon, että jäähtynyttä paluuvettä ei pääse sekoittumaan verkostoon menevän veden joukkoon. Mikäli virtaama määritellään tässä tilanteessa m^3/h , kun venttiiliin yli on 1 baari painetta, saadaan venttiilin k_{VS} -arvo.

Sekoitusventtiiliä käytettäessä lämmitysverkostossa on aina sellainen putkiston osa, jonka virtausta sekoitusventtiili muuttaa. Tätä putkiston osaa kutsutaan tässä opinnäytetyössä säätöpiiriksi. Esimerkki säätöpiiristä on putkisto varaajan ja kolmitieventtiilin välillä (kuva 25). Säätöpiirin painehäviötä kyseisellä piirin virtaamalla tarvitaan sekoitusventtiilin mitoituksessa. Putkea ja sen linjasäätöventtiiliä, joka tuo jäähtyneen paluueden kolmitieventtiiliin, ei lasketa mukaan säätöpiirin painehäviöön.

Sekoitusventtiilin auktoriteetin olisi hyvä olla $0,5 \dots 0,95$. Tällöin venttiili pystyy hyvin säätämään virtausta verkostossa. Vaikka arvo jäisi hieman alle $0,5:n$, pystyy venttiili silti säätämään riittävästi.



Kuva 25. Kolmitieventtiilin säätöpiiri

On olemassa ainakin kaksi pääkoulukuntaa sille, miten lämmityspiirit tehdään. Ensimmäisessä koulukunnassa lämmönlähteestä lähtee niin monta lämmityspiiriä kuin tarvitaan omine pumppuineen ja sekoitusventtiileineen. Toisessa ajattelutavassa on taas ns. pääpumppu ja sekoitusventtiili, jonka jälkeen haarautuu tarvittava määrä lämmityspiirejä sekoitusventtiileineen ja niiden tarvitsemine pumppuineen.

Sekoitusventtiiliä mitoitettaessa on tiedettävä sen säätöpiiri. Tämän verkosto-osan määrittäminen ei ole yksinkertaista joka tilanteessa. Laboratoriolaitteistossamme on käytössä jälkimmäinen ajattelutapa. Tässä jälkimmäisessä versiossa pääpumpun viereisen pääsekoitusventtiilin, eli varaajapiirin sekoitusventtiilin, säätöpiiri, on putkisto, joka on varaajan ja kolmitieventtiilin välillä. Lattialämmityksen sekoitusventtiilin säätöpiiri on jo tässä tapauksessa hieman vaikeampi määrittää.

Käytimme sekoitusventtiilien mitoituksessa seuraavia kaavoja

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p_{sv}}}$$

Tästä saadaan

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}} \right)^2$$

$$a_v = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{sv} + \Delta p_{sp}} \geq 0,5$$

q_v on sekoitusventtiilistä lähtevä sopivan lämpöiseksi sekoitettu virtaama
 Δp_{sp} on säätöpiirin painehäviö

k_v on laskennallinen venttiilin avautuma, joka määritetään q_v :n ja Δp_{sp} :n avulla.

k_{vs} on venttiilivalmistajan ilmoittama arvo, kun venttiili on täysin auki

Δp_{sv} on sekoitusventtiilin painehäviö

a_v on sekoitusventtiilin auktoriteetti

11.3 Pääsekoitusventtiilin mitoitus

Katsomalla kytkentäkaaviota (liite 10) ja painehäviölaskelmia (liite 8) voi selvittää, mistä säätöpiirien painehäviöarvot on saatu seuraaviin venttiilimitoituskaavoihin. Säätöpiiriosuuksilla olevien linjasäätöventtiilien aiheuttamien painehäviöiden määrittämisperiaatteet käyvät ilmi luvusta 2 *Lämmitysjärjestelmän tasapainotus*. Kaavoissa käytetyt virtaamat voi katsoa *tehot ja virtaamat -kaaviosta* (liite 9).

Pääsekoitusventtiili huipputehon aikoihin, kun kaikki linjat ovat auki ja lämmityspiirit käytössä, mitoitetaan seuraavasti:

$$k_v = \frac{0,202 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{0,042 \text{ bar}}} = 0,99$$

k_v -arvoa laskettaessa Δp_{sv} :n paikalle laitetaan säätöpiirin painehäviö, kun Δp_{sv} :tä ei vielä tunneta. Jos oletetaan venttiilin auktoriteetiksi 0,5, voidaan sekoitusventtiilin painehäviötä pitää tässä vaiheessa samana säätöpiirin painehäviön kanssa. Asian voi tarkistaa auktoriteetti kaavalla. Tämän jälkeen valitaan jonkun valmistajan venttiili. Valmistajat ilmoittavat venttiileilleen k_{vs} -arvoja. Laskemalla saatua k_v -arvoa, esim. 0,99, ei yleensä valmistajilla ole, joten valitaan venttiili, jonka valmistajan arvo on lähimpänä laskettua. Yleensä kannattaa valita venttiili, jonka valmistajan arvo on laskettua arvoa pienempi.

Valitsemamme venttiin k_{vs} -arvo on 0,63. Tämän jälkeen lasketaan valitun venttiin painehäviö.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{0,202 \frac{m^3}{h}}{0,63 \frac{m^3}{h \text{ bar}}} \right)^2 \approx 0,103 \text{ bar} \approx 10,3 \text{ kPa}$$

Lopuksi tarkistetaan auktoriteetti.

$$a_v = \frac{10,3 \text{ kPa}}{10,3 \text{ kPa} + 4,2 \text{ kPa}} \approx 0,7$$

11.4 Lattialämmityspiirien sekoitusventtiin mitoitus

Säätöpiirin valinta

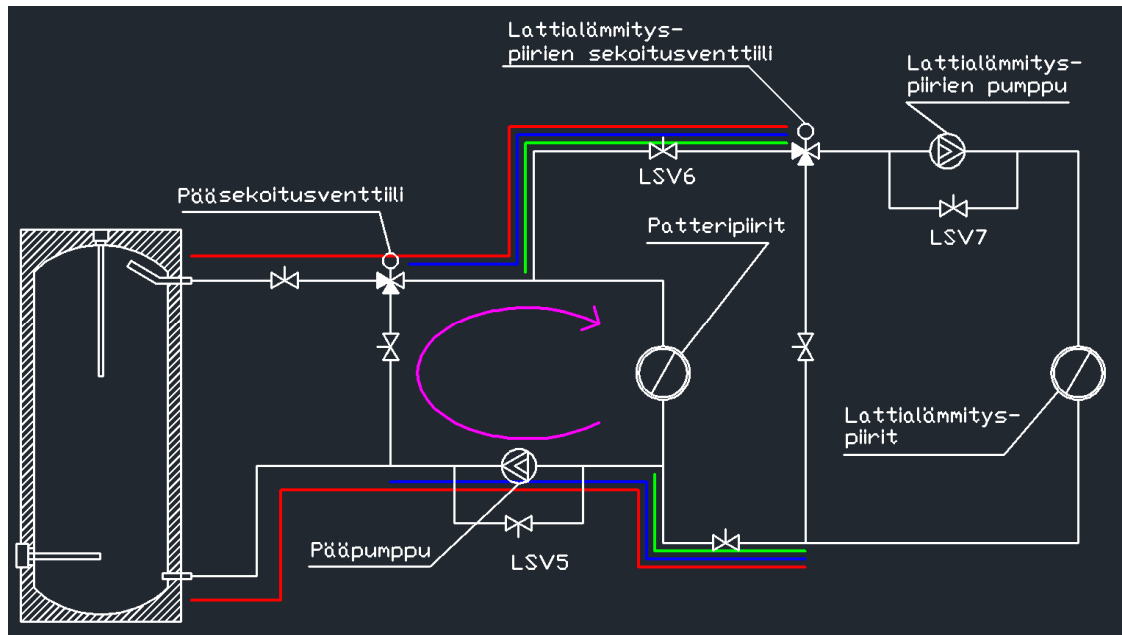
Lattiapiirien sekoitusventtiin säätöpiiriksi on tarjolla useampia vaihtoehtoja. Yksi vaihtoehtoista on putkiosuus, joka käsittää sekä meno- että paluuputken venttiileineen lattiapiirien sekoitusventtiilistä aina pääsekoitusventtiilille asti. Tämä putkiosuusvaihtoehto on esitetty sinisellä viivauksella kuvassa 26.

Toinen vaihtoehto on putkiosuus aina varaajalle asti. Tämä vaihtoehto pitää sisällään koko sinisellä viivatun osuuden, pääsekoitusventtiin painehäviön, kaikki matkalla olevat venttiilit sekä painehäviöt varaajan pyörteissä. Tätä putkiosuusvaihtoehtoa esitetään punaisella viivauksella kuvassa 26.

Nuolella varustettu violetti kiertoviiva esittää samaisessa kuvassa verkoston osaa, jossa voidaan sanoa olevan lähes vakio virtaama. Tämä verkoston osan virtaama muuttuu vain, jos pattereiden termostaattiventtiilit sulkeutuvat tai jos lattiapiirien sekoitusventtiili muuttaa virtaamaa. On huomattava, että pääsekoitusventtiili muuttaa itsensä ja varaajan välisen putkiosuuden virtaamaa.

Koska virtaama on lähes vakio violetin kiertoviivan esittämässä verkoston osassa, lattiapiirien sekoitusventtiilille valittiin säätöpiiriksi ne putket, jotka yhdistävät ko. sekoitusventtiin tähän verkoston osaan, jossa on vakiovirtaama. Valittu säätöpiiri on esitet-

ty kuvassa vihreällä viivattuna osuutena. On myös hyvä todeta, että vaikka sinisellä viivauksella varustettu putkiosuus olisikin valittu, ei lopputulos juurikaan muuttuisi. Tämä johtuu siitä, että putki ei tuota suurta painehäviötä ja putkipituus vaihtoehtoisten putkiosuuksien välillä on hyvin pieni. Lisäksi enemmän painehäviötä aiheuttavia venttiileitä ei osu matkalle, kun vertaillaan kuvassa sinisellä ja vihreällä viivattuja putkiosuuksia. Punainen putkiosuus taas ylittäisi jo pääsekoitusventtiilin säätöpiirille.



Kuva 26. Säätöpiirin valinta lattialämmityspiirien sekoitusventtiilille

Lattialämmityspiirien sekoitusventtiili huipputehon aikoihin, kun kaikki linjat ovat auki ja lämmityspiirit käytössä, mitoitetaan seuraavasti:

$$k_v = \frac{0,155 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{0,188 \text{ bar}}} = 0,36$$

Valitaan valmistajalta venttiili k_{vs} -arvolla 0,4.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{0,155 \frac{m^3}{h}}{0,4 \frac{m^3}{h \text{ bar}}} \right)^2 \approx 0,150 \text{ bar} \approx 15,0 \text{ kPa}$$

$$a_v = \frac{15,0 \text{ kPa}}{15,0 \text{ kPa} + 18,8 \text{ kPa}} \approx 0,4$$

12 Laitteiston toimintatarkastelut

Lopuksi on syytä tehdä vielä tarkastelu lämmönjakohuonemoduulille eri käyttötilanteissa. Todettakoon, että yksi venttiili ei voi toimia millä tahansa virtaamalla, kun käyttötilanteita on useita. Jossain vaiheessa venttiili ja sen säätöpiiri saavat sellaiset painehäviöarvot, että venttiili ei kykene enää kunnolla säätämään virtaamaa. Tilanteissa on myös syytä ottaa huomioon, että mikäli haluttua lämpötilaeroa muutetaan, muuttuu virtaamakin, ja päinvastoin, kuitenkin lämmitysteho pysyy samana.

Pumppuja tarkastellessa, mikäli virtaaman muutos on suuri, ei pumpun toimintapiste enää ylläkään käyrästölle. Näin saattaa käydä virtaamien ollessa jo alun perin pienet.

Seuraavia tilanteita tarkasteltaessa on syytä katsoa tilannekaavioita liitteessä 4 ja painehäviölaskelmia liitteessä 8.

Kaavoissa esiintyy usein säätöpiirin painehäviö 4 kPa. Tämä painehäviö muuttuu merkityksettömän vähän eri tilanteissa, sillä piirin pienten virtaamien muutokset ovat hyvin pieniä. Asiaa on määritetty painehäviölaskelmissa.

12.1 Tilanne 1: vain lattiapiirit käytössä ja vesi pääsekoitusventtiililtä lähtiessä 70 °C

Tarkastellaan tilannetta, jossa vain lattiapiirit ovat käytössä kaikkien muiden linjojen ollessa kiinni. Lämmitysteho on 1,8 kW. Ajatellaan, että tässä tilanteessa pääsekoitusventtiili sekoittaa 95-asteisen veden 70-asteiseksi ja lattiapiirien sekoitusventtiili sekoittaa siitä vielä 45 °C:n lämpöistä vettä. Pääsekoitusventtiilin sekoittama virtaama pienee huipputehon aikaisesta virtaamasta 0,202 m³/h, jolloin kaikki linjat ovat käytössä, virtaamaan 0,050 m³/h. Tämä virtaama on siis vain lattiapiirien tarvitsema virtaama, kun vesi on vielä 70 °C.

Pääsekoitusventtiiliin painehäviöksi tulee tällöin

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{0,050 \frac{m^3}{h}}{0,63 \frac{m^3}{h \text{ bar}}} \right)^2 \approx 0,0064 \text{ bar} \approx 0,64 \text{ kPa}$$

ja auktoriteetiksi

$$a_v = \frac{0,64 \text{ kPa}}{0,64 \text{ kPa} + 4 \text{ kPa}} \approx 0,14$$

Voidaan todeta, että venttiiliin auktoriteetti on kyseessä olevassa tilanteessa melko olematon. Näin ollen venttiiliin säätökykyä ei voida taata. Laitteistoa ei suositella käytettäväksi tällaisella tavalla.

12.2 Tilanne 2: vain lattipiirit käytössä ja vesi pääsekoitusventtiililtä lähtiessä 45 °C

Tarkastellaan tilannetta, jossa vain lattipiirit ovat käytössä kaikkien muiden linjojen ollessa kiinni. Lämmitysteho on 1,8 kW. Tässä tilanteessa pääsekoitusventtiili sekoittaa 95-asteisen veden 45-asteiseksi, ja lattipiirien sekoitusventtiili on täysin auki (voidaan vaikka avata käsikäytöllä). Pääsekoitusventtiiliin sekoittama virtaama pienenee huipputehon aikaisesta virtaamasta 0,202 m³/h, jolloin kaikki linjat ovat käytössä, virtaamaan 0,155 m³/h. Tämä virtaama on vain lattipiirien tarvitsema virtaama, kun vesi on 45 °C.

Pääsekoitusventtiiliin painehäviöksi tulee tällöin

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{0,155 \frac{m^3}{h}}{0,63 \frac{m^3}{h \text{ bar}}} \right)^2 \approx 0,061 \text{ bar} \approx 6,1 \text{ kPa}$$

ja auktoriteetiksi

$$a_v = \frac{6,1 \text{ kPa}}{6,1 \text{ kPa} + 4 \text{ kPa}} \approx 0,6$$

Venttiiliin auktoriteetti on tässä tilanteessa riittävä.

Lämmönjakohuonemuodin linjasäätöventtiilit

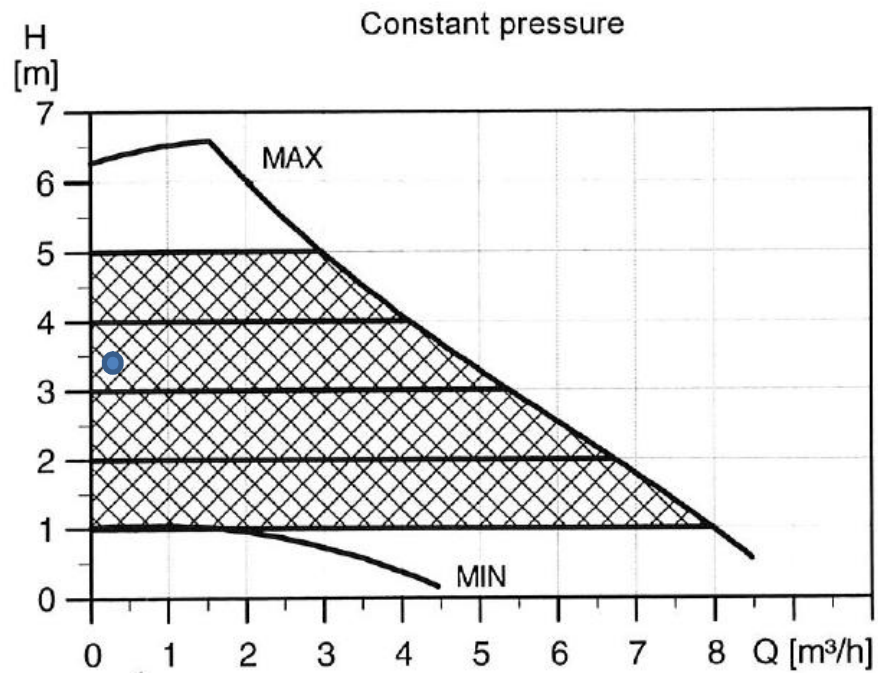
LSV5:n (Oras 4100 DN10) esisäätöarvo on 3. Virtaama pumpun ohitusputkessa on sama kuin huipputehon aikana (kaikki linjat auki) 0,055 l/s. Venttiilin tuottama painehäviö on 34,3 kPa. Tämä painehäviö tarvitaan tasapainottamaan keskenään samanarvoiseksi pumpun ohitusputki ja putkiosuus, jolla vesi toimitetaan lattialämmityspiirien säätöventtiilille.

LSV6:n (Oras 412012 LVK-venttiilin) esisäätöarvo on 8. Venttiilin aiheuttama painehäviö on 20 kPa virtaaman ollessa 0,043 l/s. Tällä venttiilillä voidaan tässä tilanteessa auttaa pääpumpun toimintapistettä osumaan paremmin käyrästölle nostokorkeuden osalta. Tämä venttiili voidaan asettaa tässä tilanteessa täysin auki. Painehäviö olisi tällöin noin 15 kPa.

LSV7:n (Oras 4100 DN10) esisäätöarvo on 3. Virtaama pumpun ohitusputkessa on 0,055 l/s. Venttiilin tuottama painehäviö on 36,8 kPa. Tämä painehäviö tarvitaan tasapainottamaan keskenään samanarvoiseksi pumpun ohitusputki ja lattialämmityspiirien virtausteknisesti vaikein reitti.

Pääpumpun toimintapiste

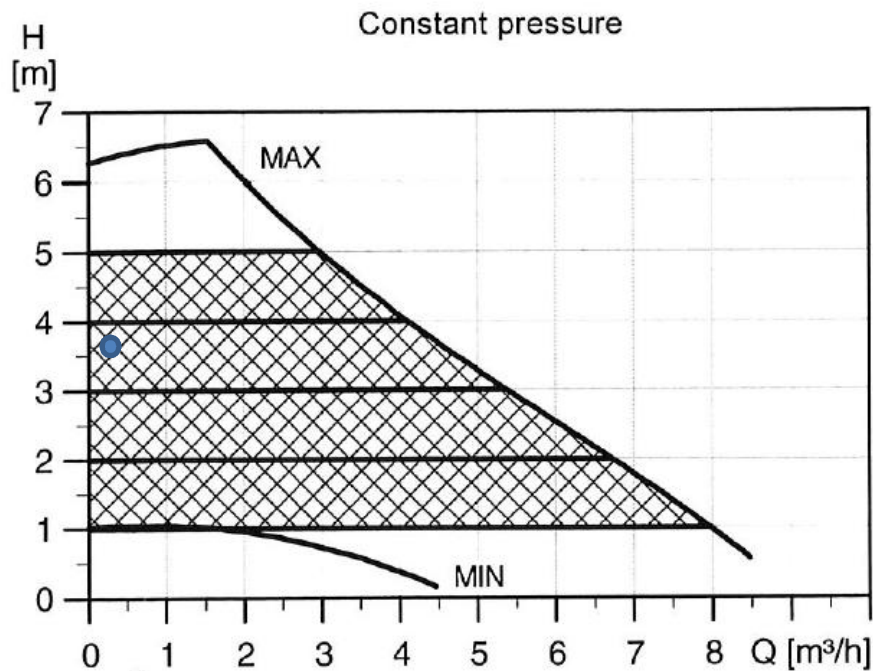
Pääpumpun tarvittava virtaama on ohitusputken 0,055 l/s, johon lisätään lattiapiirien virtaama 0,043 l/s, eli yhteensä noin 0,1 l/s, josta saadaan 0,36 m³/h, ja tarvittava paineen tuotto on 34,3 kPa eli noin 3,4 m (kuva 27).



Kuva 27. Magna 25-60 -kiertovesipumpun mitoituskäyrästä [17]

Lattialämmityspiirien pumpun toimintapiste

Lattialämmityspiirien pumpun tarvitsema virtaama on ohitusputken 0,055 l/s, johon lisätään lattiapiirien virtaama 0,043 l/s, eli yhteensä noin 0,1 l/s ja tarvittava paineen tuotto on 36,8 kPa (kuva 28).



Kuva 28. Magna 25-60 -kiertovesipumpun mitoituskäyrästä [17]

12.3 Tilanne 3: patterilinoja käytössä minimimäärä

Tarkastellaan tilannetta, jossa lattiapiirit ovat kiinni ja patterilinoja on käytössä minimimäärä. Kokonaisvirtaaman täytyy kuitenkin olla niin suuri, että sekoitusventtiilin auktoriteetti pysyy kohtuullisena. Tässä tilanteessa pääsekoitusventtiili sekoittaa 95-asteisen veden 70-asteiseksi. Pääsekoitusventtiilin sekoittama virtaama voi pienimmillään olla noin 0,029 l/s, jos auktoriteetin halutaan olevan noin 0,4. Muunnettuna 0,029 l/s on 0,104 m³/h.

Pääsekoitusventtiilin painehäviöksi tulee tällöin

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{0,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h bar}}} \right)^2 \approx 0,0273 \text{ bar} \approx 2,73 \text{ kPa}$$

$$a_v = \frac{2,73 \text{ kPa}}{2,73 \text{ kPa} + 4 \text{ kPa}} \approx 0,4$$

Koska pienin virtaama on 0,029 l/s ja esim. kahden patterilinjan kokonaisvirtaama on noin 0,022 l/s, suosittelemme sekoitusventtiilin säädön toimivuuden vuoksi käytettäväksi minimissään kolmea patterilinjaa.

Lämmönjakohuonemoduulin LSV-esisäätöarvoja ei määritetty, sillä ei ole tiedossa, mitä linjoja kulloinkin halutaan käyttää. Sama koskee pääpumppua nostokorkeuden osalta. Tässä pumppua tarkastellaan kuitenkin virtaaman osalta. Nostokorkeuskin yltää käyrästölle, sillä se pienenee vain noin 4 kPa. Pääpumpun virtaama on ohitusputken 0,055 l/s, johon lisätään kolmen patterilinjan virtaama 0,033 l/s, eli yhteensä noin 0,088 l/s. Katsomalla ko. pumpun käyrästä voidaan nähdä, että toimintapiste yltää vielä käyrästölle virtaaman osalta.

12.4 Tilanne 4: kaikki lämmityspiirit käytössä

Tämä tilanne on huipputeho 7,1 kW, jossa kaikki lämmityspiirit ovat käytössä. Tässä tilanteessa pääsekoitusventtiili sekoittaa 95-asteisen veden 70-asteiseksi ja lattiapiirien sekoitusventtiili sekoittaa 70-asteisen veden lattiapiireille 45-asteiseksi. Pääsekoitusventtiilin sekoittama virtaama on 0,202 m³/h ja lattiapiirien sekoitusventtiilin 0,155 m³/h.

Pää- ja lattiapiirien sekoitusventtiilin mitoitus on esitetty luvussa 11 *Sekoitusventtiilit*.

Lämmönjakohuonemoduulin linjasäätöventtiilit

LSV5:n (Oras 4100 DN10) esisäätöarvo on 3. Virtaama pumpun ohitusputkessa on 0,055 l/s. Venttiilin tuottama painehäviö on 33,5 kPa. Tämä painehäviö tarvitaan tasapainottamaan keskenään samanarvoisiksi pumpun ohitusputki ja verkoston virtausteknisesti vaikein reitti.

LSV6:n (Oras 412012 LVK-venttiilin) esisäätöarvo on 3. Venttiilin aiheuttama painehäviö on 14,8 kPa virtaamalla 0,014 l/s. Tällä venttiilillä tasapainotetaan keskenään sa-

manarvoisiksi verkoston virtausteknisesti vaikein reitti ja putkiosuus, jolla vesi toimitetaan lattialämmityspiirien säätöventtiilille.

LSV7:n (Oras 4100 DN10) esisäätoarvo on 3. Virtaama pumpun ohitusputkessa on 0,055 l/s. Venttiilin tuottama painehäviö on 36,8 kPa. Tämä painehäviö tarvitaan tasapainottamaan keskenään samanarvoisiksi pumpun ohitusputki ja lattialämmityspiirien virtausteknisesti vaikein reitti.

Pumppujen mitoitus ja toimintapisteet on esitetty luvussa 10 *Lämmitysverkoston kiertovesipumput*.

12.5 Tilanne 5: verkoston käyttö puoliteholla

Mikäli verkostoa käytetään puoliteholla, ovat vesivirrat kuitenkin samat; lämpötiloja vain pudotetaan. Tällöin myös pumput ja venttiilit toimivat kuten edellä.

13 Lämpötilojen mittaaminen

Laboratoriolaitteistolla oli tasapainotuksen lisäksi tarkoitus tutkia yksittäisen patterin lämmönluovutusta. Patterin lämmönluovutuksen laskentaan riittää tieto meno- ja paluuveden lämpötilasta sekä ympäröivän tilan senhetkisestä lämpötilasta. Sen jälkeen voidaan valmistajakohtaisten ohjeiden mukaan laskea patterin luovuttama lämpöteho. Tätä varten jokaisen patterin meno- ja paluuputkeen asennetaan lämpötilamittarit, joista nähdään veden lämpötilat mahdollisimman tarkasti.

Ensiksi tutkittiin perinteisten lämpömittareiden soveltuvuutta, joita Suomen Lämpömittari Oy markkinoi ja joista on jopa julkaistu oma LVI-ohjekortti. Näitä lämpömittareita olivat bi-metallilämpömittari sekä nestepatsaslämpömittari (elohopealämpömittari). Molemmilla päästäisiin kohtuulliseen mittaustarkkuuteen eli noin $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen [20]. Tämä ei kuitenkaan vielä riittänyt vaadituksi tarkkuudeksi, joten päätimme siirtyä käyttämään anturitekniikkaa mittauksissa.

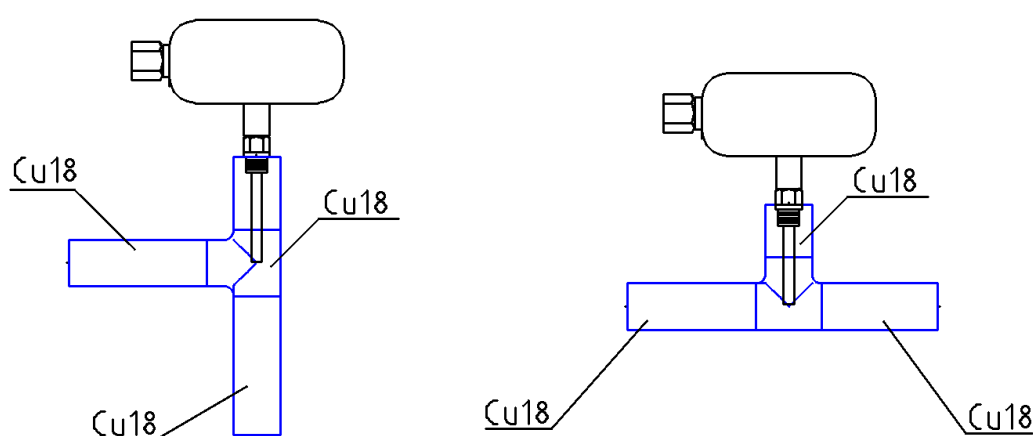
Vaihtoehtoina olivat termoelementti sekä vastusanturi, joista valitsimme jälkimmäisen sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Vastusanturiksi valitsimme mieluummin Pt1000:n (kuva 29) kuin Pt100:n, koska Pt1000:een vaikuttaa pienemmässä suhteessa sen läpi menevä virta. Vastusanturin nimi, Pt1000, tulee siitä, että platinavastuksen resistanssi on $1000\text{ }\Omega$ lämpötilan ollessa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pt1000-vastusmittauksen etu muihin menetelmiin nähden on sen hyvässä pitkäaikaistabiilisuudessa, mikä tarkoittaa sitä, että anturi pysyy mittaustarkkuudeltaan luotettavana useita vuosia. Anturin mittaustarkkuus on $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ veden lämpötilan ollessa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. [21].



Kuva 29. TENA Pt1000 -vastusanturi [21]

TENA Pt1000 -vastusanturin asennus putkeen

Vastusanturin suojataskun pituus on noin 50 mm ja halkaisija 4 mm. Asennuksessa täytyy ottaa huomioon se, että anturin suojatasku ei häiritse liian paljon virtausta. LVI-kortissa onkin ohjeena, että suojatasku ei saa pienentää virtausputken poikkipinta-alaa enempää kuin 10 prosenttia [22, s. 2]. Laskelmien jälkeen selvisi, että anturi voidaan asentaa 18 mm:n kupariseen T-haaraan siten, että anturin mittauspää on noin puolessa välissä osaa (kuva 30). Silloin se ei vielä häiritse virtausta. Tämä edellyttää kuitenkin, että anturin suojataskun halkaisija on enintään 4 mm.



Kuva 30. Pt1000-vastusanturi asennettuna T-haaraan sekä putkeen

Mittaustietojen kerääminen

Putkien meno- ja paluulämpötilojen lukeminen täytyisi olla mahdollisimman helppoa ja vaivatonta, joten otimme selvää, millaisia laitteita markkinoilla olisi tähän tarkoitukseen. Laitepaketit olivat melko hintavia, joten päätimme kysyä tietotekniikan opettajalta neuvoja mittaustietojen keruujärjestelmän toteutukseen. Hän kertoi meille, että helppointa olisi rakentaa koulussa sellainen tietojenkeruujärjestelmä, jota ohjaa mikrokontrolleri ja josta tiedot saisi näkyviin pienelle LCD-näytölle. Tällainen järjestelmä tulisi maksamaan vain murto-osan valmiista paketista, sillä koulu voisi järjestää jonkun opiskelijan rakentamaan tietojenkeruujärjestelmän laadukkaista, mutta edullisista peruskomponenteista.

Tietojenkeruujärjestelmän vaatimukset

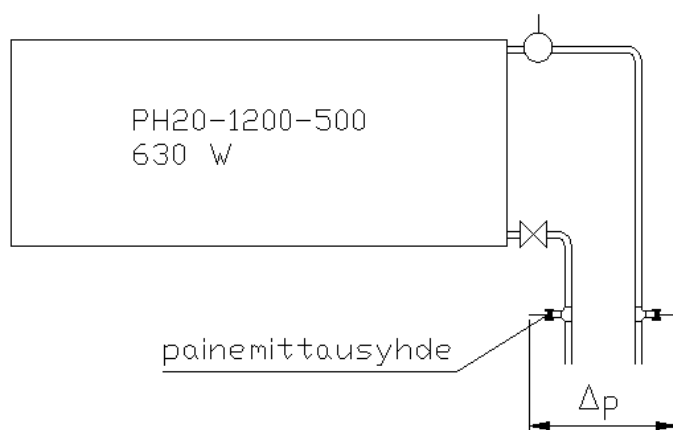
Moduulirakenteeseen tulee ainakin 31 Pt1000-vastusanturia, joista muutetaan analoginen jännitetieto digitaaliseksi. Sitten lämpötilatietoja tulee voida selata painikennäpäimien avulla LCD-näytöltä, siten että vähintään yhden patterin meno- ja paluuputken lämpötilat mahtuvat siihen kerralla luettavaksi. Lämpötilalukeman tulee näkyä näytöltä vähintään yhden desimaalin tarkkuudella. Järjestelmän mittaustiedot pitäisi saada myös siirrettyä PC:lle.

14 Virtaaman mittaaminen yksittäisestä patterista

Tilaajan toiveena oli, että yksittäisen patterin vesivirta pystyttäisiin mittaamaan kohtuullisella tarkkuudella. Tästä on myös hyötyä tasapainotuksen kannalta, sillä verkostossa on niin vähän pattereita, että yksittäisen patterin virtaaman merkitys korostuu mittauksissa.

Ensiksi suunnittelimme, että virtaama mitattaisiin ultraäänivirtausmittarilla. Siinä oli ideana se, että ei tarvittaisi putkeen kiinnitettäviä mittauslaitteita/pisteitä. Tutkimme asiaa huolellisesti ja pyysimme hintoja eri laitteista, mutta tuloksena oli kömpelö ja kallis ratkaisu. Huonoin puoli oli siinä, että jokainen yksittäinen lämpötilan mittaaminen putkesta kestäisi vähintään 15 minuuttia, sillä laitteiston kiinnitys pieneen putkeen vie paljon aikaa. Pelkästään tämän asian vuoksi päätimme luopua tästä mittaustavasta.

Toinen idea oli mitata virtaamaa paineen avulla kuvan 31 mukaisesti. Saimme tähän konkreettista apua LVI-laboratorioluokan virtauspenkistä, jossa on samanlaisia painemittausyhteitä, joita tarvitsisimme. Jos kiinnittäisimme patteriventtiiliin molemmille puolille painemittausyhteet, voisimme niiden avulla mitata kuvan mittauspisteiden välisen painehäviön. Putkiston ja patterin painehäviö olisi tässä tilanteessa suhteellisen pieni, verrattuna patteriventtiilin painehäviöön, joten niitä ei tarvitsisi huomioida. Sitten venttiilikäyrästä voisimme katsoa virtaaman tällä painehäviöllä. Mittausyhteet eivät vain saisi aiheuttaa huomattavia määriä painehäviötä, jotta virtaaman saisi riittävällä tarkkuudella luettua käyrästä.



Kuva 31. Virtaaman mittaus painemittausyhteiden avulla

Painemittaukseen perustuvaa virtausmittausta ei kuitenkaan hyväksytty, joten päädyimme käyttämään virtauksen mittauksessa mekaanista rotametriä (kuva 32). Markkinoilta saatavan rotametrin alkuperäiset muoviyhdistäjät (PVC-U) eivät kestä jatkuvaa 70 °C:n lämpötilaa, joten ne vaihdettiin kovempaan muoviseokseen (PVC-C).



Kuva 32. Muovinen rotametri ja RST-yhdistäjät [23]

Rotametriä puhtauden varmistus

Lämmitysverkostoon pääsee väkisinkin hieman happea, joten teräsosat alkavat pikkuhiljaa ruostua ja liata verkoston vettä. Laboratoriolaitteisto on kuitenkin suunniteltu rakennettavaksi kupariputkesta, joten teräksisiä osia tulevat olemaan lähinnä vain patterit. Lämmitysverkostoon on kuitenkin hyvä asentaa suodatin, jolla saadaan pienetkin hiukkaset kerättyä putkistosta, jotta vesi pysyisi mahdollisimman puhtaana. Tähän tarkoitukseen soveltuu patruunasuodatin (kuvassa 33), jolla saadaan poistettua jopa 5 µm:n kokoiset hiukkaset vedestä. Patruunasuodatin rakentuu suodatinsäiliöstä, jonka sisällä on kuitupatruuna. Valmistajan ilmoittama säiliön ja patruunan yhteinen painehäviö on vain 150 Pa. Jotta putkistossa olevat hiukkaset saataisiin tehokkaasti suodattimeen, pitäisi verkostoa välillä huuhdella siten, että suuri määrä verkoston vettä kierrätettäisiin vuorotellen yhden patterin kautta.



Kuva 33. Suodatinsäiliö ja kuitupatruunat [24]

15 Yhteenveto

Patteriverkoston simulointilaitteiston suunnittelu oli erittäin haasteellinen ja suuritöinen LVI-alan erikoistyö. Erityisen vaikeaksi työn tekivät pienet vesivirrat ja se, että laitteisto piti kyetä purkamaan kuljetusta varten ja kokoamaan uudestaan. Pienet vesivirrat aiheutuivat pienistä pattereista ja niiden vähäisestä määrästä, sillä käytössä oleva tila oli rajallinen. Moduulien varaan ei voitu laittaa suuria määriä painoa, joten pattereiden täytyi pysyä kohtuullisen kokoisina. Lisäksi suuret patterikoot ja -määrät olisivat kasvattaneet myös paisunta-asian ja lämmitysvaraajan kokoa. Suurta varaajaa alkaa olla jo mahdotonta siirtää paikasta toiseen käytössä olevia kuljetusreittejä pitkin. Tehokasta, pienikokoista ja sähkölämmitteistä läpivirtauskattilaa ei voitu käyttää tilaajan ilmoittaman sulakekoon vuoksi.

Pienet vesivirrat hankaloittivat sopivien putkistovarusteiden löytämistä, kuten venttiilit ja pumput. Pienillä vesivirroilla venttiilien toimintapisteet eivät yllä käyrästöilleen, ja venttiilien mittaus- sekä säätötarkkuus kärsivät. Pumppuja on pieniin vesivirtoihin ja nostokorkeuksiin, mutta ne ovat enimmäkseen omakotitalojen pumppuja. Ne on suunniteltu automaattisesti hakemaan parasta toimintapistettä verkoston käyrästä, eikä niitä voida ohjata riittävän tarkasti tällaisessa laboratoriolaitteistossa. Tarkemmin ohjattavissa olevat pumput on tarkoitettu suuremmille vesivirroille.

Laitteiston nousulinjoihin, joita käytetään patteriverkoston tasapainotuksessa, on saatavissa kuitenkin kyseisissä vesivirroissa toimiva Oraksen lämpimän käyttöveden linjasäätöventtiili. Tilaaja toivoi tasapainotuksessa käytettäväksi useiden eri valmistajien venttiileitä. Tätä toivetta ei voitu toteuttaa. Tarkasti ohjattavia pumppuja, kuten Grundforsin Magna-pumput, joiden nostokorkeutta voidaan säätää 1 kPa:n tarkkuudella, voidaan käyttää pienissä virtaamissa *ohitusputkella*. Suunnittelimme siis niille linjasäätöventtiilillä varustetut ohitusputket. Yhtenä ongelmana oli myös pienten vesivirtojen mittaaminen pattereiden kytkentäjohtoista, johon yritettiin löytää kaikenlaisia ratkaisuja aina ultraäänimittaukseen asti. Lopulta mittausmahdollisuus päätettiin järjestää putkeen asennettavien rotametrien avulla. Työn aikana jouduimme neuvottelemaan useiden eri LVI-yritysten ja laitevalmistajien kanssa.

Patteriverkoston simulointilaitteisto saatiin suunniteltua sellaiseksi, että sillä voidaan opetella patteriverkoston tasapainotusta ja tutkia pattereiden ja lattialämmityspiirien

lämmönluovutusta. Laitteistolle on mahdollista kehittää myös muita laboratorioharjoituksia pumppujen säätävyyden ja venttiilimäärien ansiosta. Vaatimuksena ollut laitteiston koottavuus ja purettavuus pystyttiin toteuttamaan moduuliratkaisulla. Lämpötilamittaus poiki uuden opinnäytetyöaiheen tietotekniikan puolelle, sillä perinteisten putkiin asennettavien lämpömittarien mittaustarkkuus ei riittänyt tilaajalle. Lämpötilamittaus verkoston eri kohdista voidaan toteuttaa putkeen asennettavilla antureilla ja halvahkolla mikrokontrollerilla noin 0,3 °C:n tarkkuudella. Perinteisille lämpömittareille ei olisi myöskään ollut tilaa moduuleissa.

On tärkeää, että laitteisto simuloi todellista lämmitysverkostoa rakennuksessa. Tällöin tasapainotettavissa linjoissa täytyy olla eri valmistajien varsinaisia lämmitysverkoston linjasäätöventtiileitä. Suunnittelemassamme laitteistossa emme kyenneet vaikuttamaan siihen, että saisimme riittävän suuret virtaamat linjasäätöventtiileille. Suunnittelun alkuvaiheessa olimme päättäneet rakentaa laitteistoon vesilenkit jokaiseen patterinousulinjaan lisäämään virtaamaa linjoissa. Tilaaja oli kuitenkin sitä mieltä, että ne pitää poistaa, joten tämän johdosta suunnittelutyöstä tuli hankalampaa. Laitteisto olisi siis mielestämme parempi tasapainotuksen kannalta, jos virtaamat kasvatettaisiin riittävän suuriksi mainituilla vesilenkeillä. Tällöin tehontarve kasvaisi ainoastaan putken lämpöhäviöiden verran. Patteritkin voisivat olla tässä tapauksessa pienempiä, sillä niiden lämmönluovutusta voidaan joka tapauksessa tutkia.

Lähteet

- 1 Laiho, Esa-Matti. 2009. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Opetusmoniste. Mikkelin teknillinen oppilaitos.
- 2 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Suomen LVI-liitto.
- 3 Venttiilit/Säätökäyrät. 2010. Verkkodokumentti. Oras Oy.
<<http://www.oras.com/fi/professional/products/Pages/ProductVariant.aspx?productcode=4100>>. Luettu 11.5.2012.
- 4 Tekninen esite. 2012. Verkkodokumentti. Danfoss Oy.
<<http://www.danfoss.com/Finland/Products/Categories/List/HE/Patteriventtiilit-ja-termostaatit/Patteriventtiilit/Esisaadettavat-venttiilit/1223d556-cbda-4c25-aac2-16c25ce12617.html>>. Luettu 14.5.2012.
- 5 Purmo tekninen esite 07-2011. Verkkodokumentti. Purmo Oy.
<<http://www.purmo.com/fi/ladattavat-tiedostot.htm>>. Luettu 14.5.2012.
- 6 Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996. LVI-ohjekortti 13-10261. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 7 SFS 3977. Putki-, säiliö- ja laite-eristysten mitoitus. 2008. Suomen standardisimisliitto SFS Ry
- 8 Miettinen, Tommi. 2010. Ruiskuvalumuotin lämpökuvaus ja pinnoittaminen. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu.
- 9 OEG-käyttövesivaraajan tekniset tiedot. 2012. Verkkodokumentti. Pexos Oy.
<http://pexos.fi/documents/Varaajat/Oeg400KV_Varaaja.pdf>. Luettu 15.5.2012.
- 10 Sulamäki, Hanna. 2008. Paisunta- ja varolaitteet. Opetusmateriaali. Metropolia-ammattikorkeakoulu.
- 11 SFS-EN 12828. Vesilämmitysjärjestelmien suunnittelu ja asennus. 2003. Teknologiaateollisuus Ry ja Suomen standardisimisliitto SFS Ry.
- 12 Kalvopaisuntasäiliö EMS. 2012. Verkkodokumentti. EMS Tekniikka Oy.
<<http://emspump.fi/products/185>>. Luettu 14.5.2012.
- 13 Sulamäki, Hanna. 2009. Painesuhteet pumppukiertoisessa lämmitysverkostossa. Opetusmateriaali. Metropolia-ammattikorkeakoulu.
- 14 Pumpput. 2010. Verkkodokumentti. Opetushallitus.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/pientalon_lammitys/pumpput.htm>. Luettu 14.5.2012.
- 15 Mikä taajuusmuuttaja on. 2012. Verkkodokumentti. ABB Oy.
<<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>>. Luettu 14.5.2012.

- 16 TA-CBI käsikirja. 2010. Verkkodokumentti. TA Hydronics.
<http://saato.wikispaces.com/file/view/Vesivirtamittarin_kaeyttoeohje_FTA-CBI_kaesikirja.pdf>. Luettu 14.5.2012.
- 17 Magna-pumpun tekninen esite. 2012. Grundfos Oy.
- 18 Lämmitysverkoston säätöventtiilien mitoitus. 1989. LVI 12-10126. Rakennustietosäätiö.
- 19 Varasto-ohjelma 2011–2012. Verkkodokumentti. Grundfos Oy.
[http://www.grundfos.fi/web/homefi.nsf/GrafikOpslag/varasto-ohjelma2011-2012_2versio/\\$File/Varasto-ohjelma%202011-2012%20LOW.pdf](http://www.grundfos.fi/web/homefi.nsf/GrafikOpslag/varasto-ohjelma2011-2012_2versio/$File/Varasto-ohjelma%202011-2012%20LOW.pdf)>. Luettu 14.5.2012.
- 20 LVI-lämpömittarit. 2007. LVI-ohjekortti 02-20610. Suomen Lämpömittari Oy.
- 21 TENA Pt1000 lämpötila-anturin tekninen esite. 2006. Verkkodokumentti.
<<http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20mittaus/PT%201000/TENA%20PT%201000>>. Produal Oy. Luettu 16.5.2012.
- 22 Putkistovarusteet ja niiden asennus. 1993. LVI-ohjekortti 12-10211. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 23 Technical Documentation. 2012. Verkkodokumentti. Georg Fischer Ab.
<<http://www.georgfischer.fi/go/A32B618BD60EB5FC076DB4F0B011FC70/>>. Luettu 16.5.2012.
- 24 Vedensuodattimet. 2009. Verkkodokumentti. Ahlsell Oy.
<http://www.ahlsell.fi/upload/Atlas%20vedensuodatin%20esite.pdf>>. Luettu 16.5.2012.

Lämpöhäviölaskelmat

Patteriputkiston paluuputkihäviöiden laskenta linjat 1–4

Ensiksi lasketaan $\alpha_{u,kon}$

$$\alpha_{u,kon} = 1,25 \cdot \sqrt[4]{\frac{40^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}}{18 \cdot 10^{-3}\text{m}}} = 7,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Seuraavaksi lasketaan $\alpha_{u,sät}$

$$\alpha_{u,sät} = 0,48 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}^4} \cdot \frac{(273,14^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C})^4 - (273,14^{\circ}\text{C} + 21^{\circ}\text{C})^4}{40^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}} = 3,05 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Sitten lasketaan lämpöhäviöt putkimetriä kohti

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{\frac{1}{500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} \pi \cdot 16 \cdot 10^{-3}\text{m} + \frac{1}{2\pi \cdot 393 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \cdot \ln \frac{9\text{ mm}}{8\text{ mm}} + \frac{1}{\alpha_u \pi d_u}} \cdot (T_v - T_u)$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + 0,000048 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + \frac{1}{\left(7,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + 3,05 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) \pi \cdot 18 \cdot 10^{-3}\text{m}}} \cdot (40 - 21)^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + 0,000048 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} + 1,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} \cdot 19^{\circ}\text{C} = 0,562 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \cdot 19^{\circ}\text{C} \approx 10,7 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = 10,7 \frac{\text{W}}{\text{m}} \quad \rightarrow \quad \phi_{häv} = L \cdot 10,7 \frac{\text{W}}{\text{m}} = 12,3\text{m} \cdot 10,7 \frac{\text{W}}{\text{m}} \approx 132 \text{ W}$$

Lattialämmityspotkiston lämpöhäviöiden laskenta

Lämmönsiirtokertoimet $\alpha_{u,kon}$ ja $\alpha_{u,sät}$ ovat samoja arvoja, joita käytettiin patteriputkiston paluuputkihäviöiden laskennassa.

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{\frac{1}{500 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \pi \cdot 10 \cdot 10^{-3} m} + \frac{1}{2\pi \cdot 393 \frac{W}{mK}} \cdot \ln \frac{6 mm}{5 mm} + \frac{1}{\alpha_u \pi d_u}} \cdot (T_v - T_u)$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,064 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 0,000048 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + \frac{1}{\left(7,12 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 3,05 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) \pi \cdot 12 \cdot 10^{-3} m}} \cdot (40 - 21)^\circ C$$

$$\frac{\phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,064 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 0,000048 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 2,61 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} \cdot 19^\circ C = 0,374 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 19^\circ C \approx 7,1 \frac{W}{m}$$

Lattialämmityspiirien 1–3 (Liite 1, s. 6) lämpöhäviöt:

$$Piiri 1 = 45,2 m \cdot 7,1 \frac{W}{m} \approx 320 W$$

$$Piiri 2 = 62,8 m \cdot 7,1 \frac{W}{m} \approx 450 W$$

$$Piiri 3 = 72,7 m \cdot 7,1 \frac{W}{m} \approx 520 W$$

Eristettyjen meno- ja paluuputkien lämpöhäviöiden laskenta

$$\frac{\Phi_{häv}}{L} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s \pi d_s} + \frac{1}{2\pi \lambda_{cu}} \cdot \ln \frac{r_u}{r_s} + \frac{1}{\alpha_u \pi d_u} + \frac{1}{2\pi \lambda_{eriste}} \cdot \ln \frac{r_u}{r_s}} \cdot (T_v - T_u)$$

$$\frac{\Phi_{häv}}{L} = \frac{1}{0,064 \frac{W}{m^{\circ}C} + 0,000048 \frac{W}{m^{\circ}C} + 2,61 \frac{W}{m^{\circ}C} + \frac{1}{2\pi \cdot 0,036 \frac{W}{m^{\circ}C}} \cdot \ln \frac{10,25 \text{ mm}}{3,75 \text{ mm}}} \cdot (40 - 21)^{\circ}C$$

$$\frac{\Phi_{häv}}{L} = \frac{1}{2,674 \frac{W}{m^{\circ}C} + 4,445 \frac{W}{m^{\circ}C}} \cdot 19^{\circ}C \approx 2,7 \frac{W}{m}$$

Jos eristeen paksuuden tuplaisi, lämpöhäviöt pienenisivät noin 0,7 W:lla eli 26 %:lla.

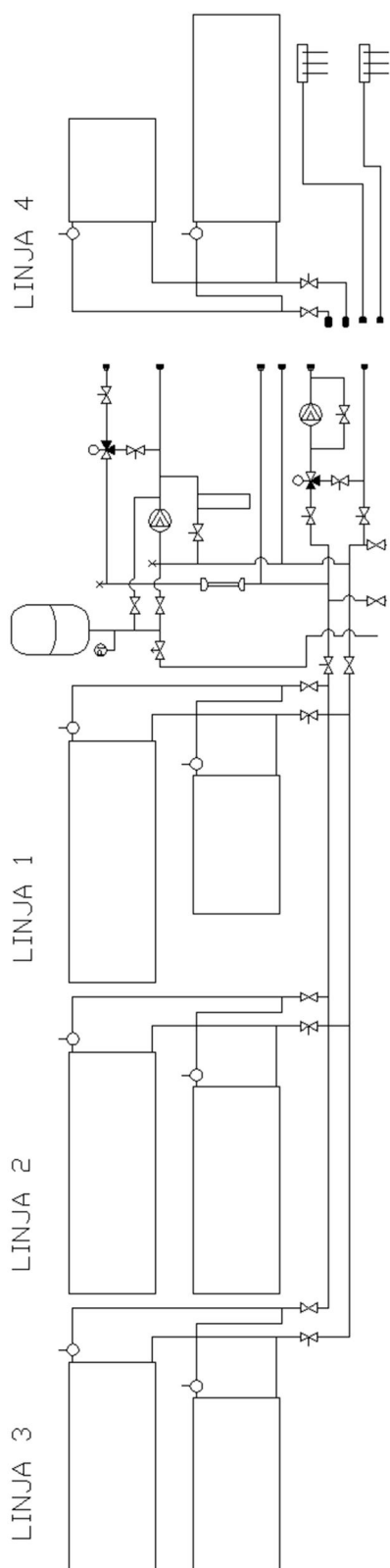
Eristettyjen jakeluputkien (liite 1, s. 5) lämpöhäviöt

$$Piiri 1 = 52m \cdot 2,7 \frac{W}{m} \approx 140 W$$

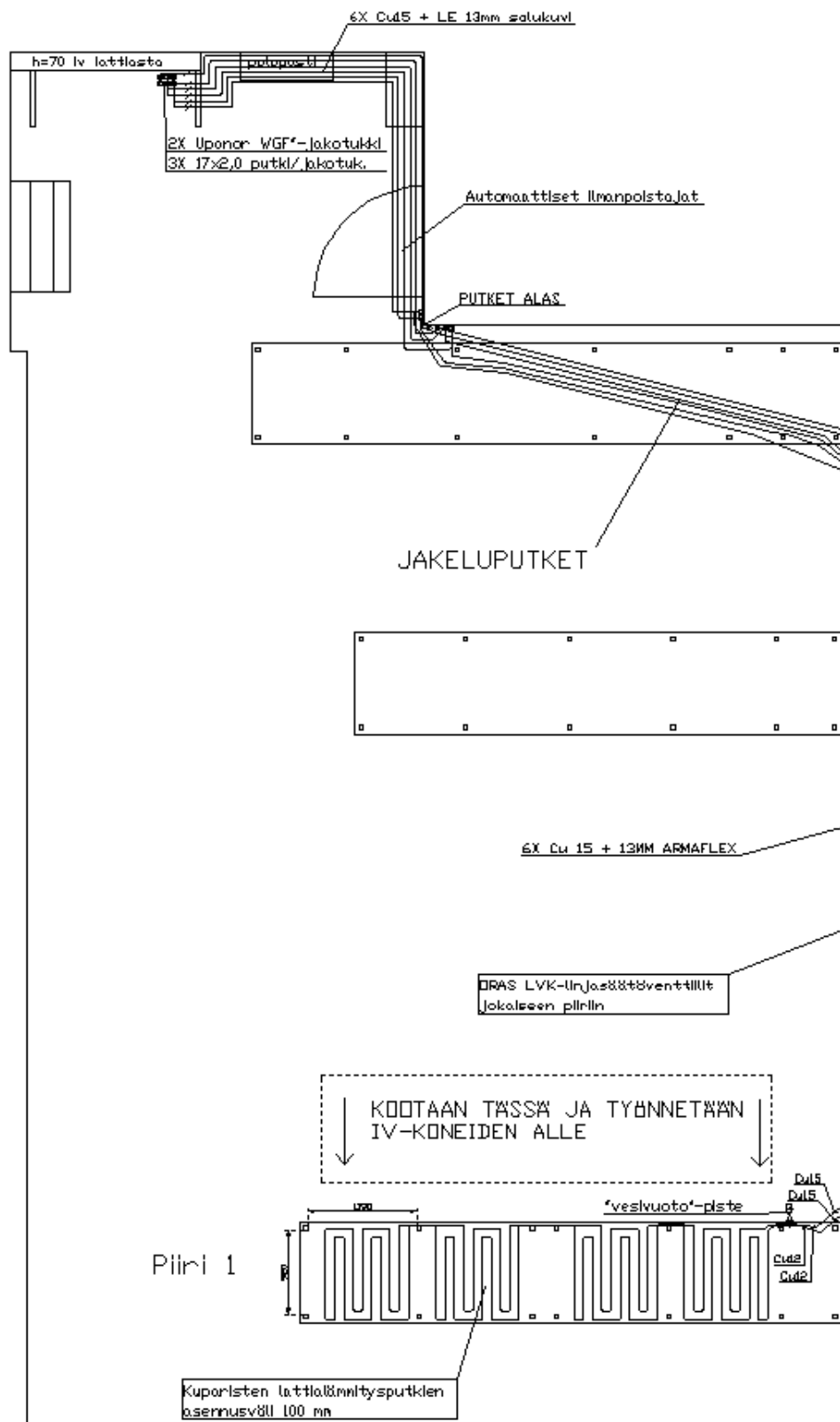
$$Piiri 2 = 62m \cdot 2,7 \frac{W}{m} \approx 167 W$$

$$Piiri 3 = 72m \cdot 2,7 \frac{W}{m} \approx 194 W$$

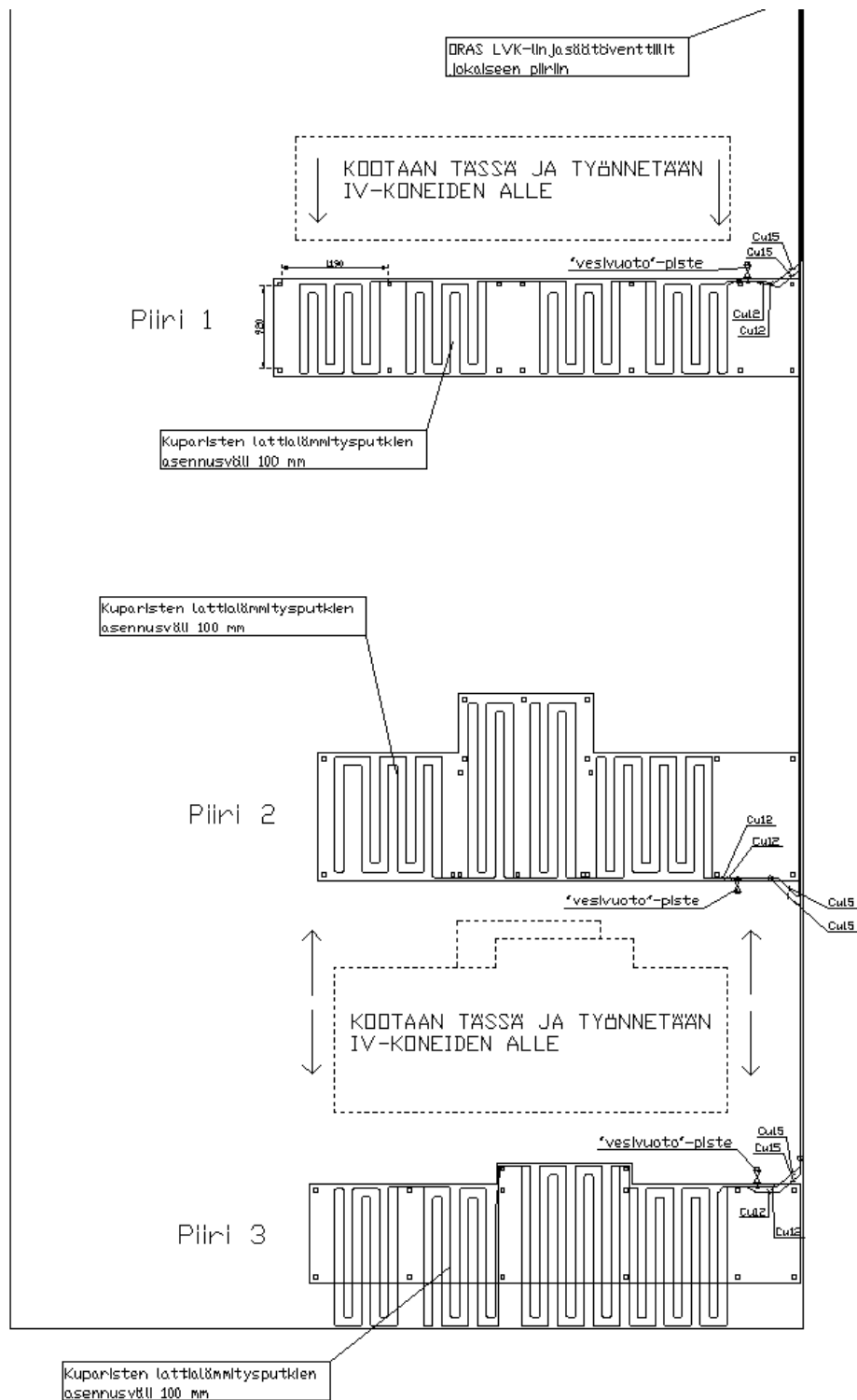
Patteriverkoston lämpöhäviölaskelman linjat 1–4



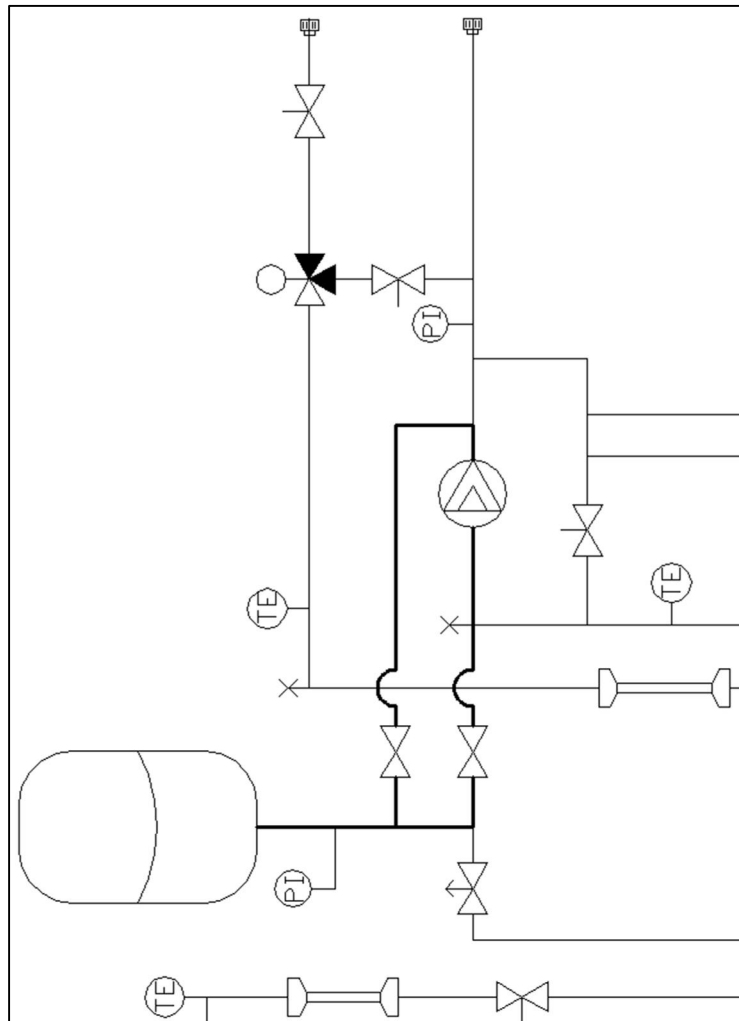
Lattialämmityspotkisto, jakeluputket



Lattialämmityspotkisto, lattiapiirit



Paisunta-astian kytkentä pumpun imu- ja painepuolelle



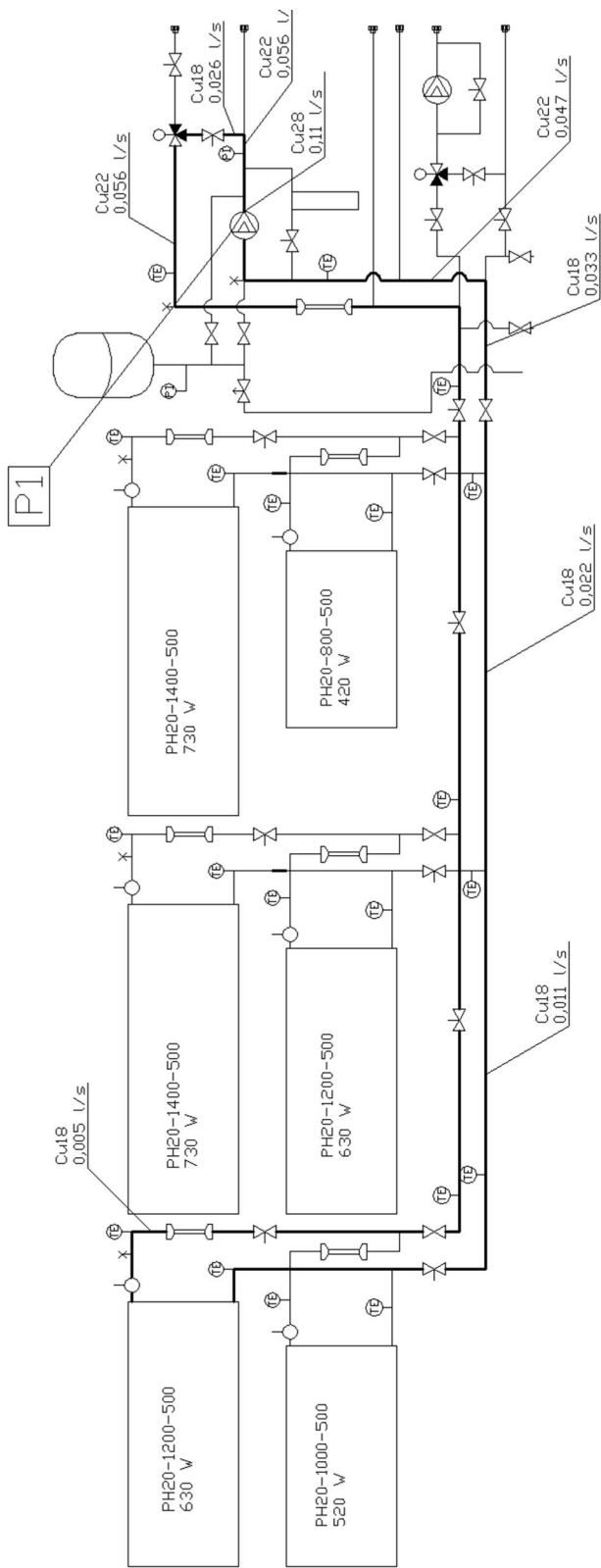
Kuvassa tummennettu putkiosuus esittää paisunta-astian kytkentää pumpun imu- ja painepuolelle. Putkisto-osuuden sulkuventtiileillä voidaan vaihtaa kytkentää.

Verkoston painehäviölaskelmat

Pääpumppu	l (m)	q _v (l/s)	ξ	p _{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	Pa	Δp _{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen paine	painehäviö	muu	kok.painehäviöt
Cu 28 (paineputki)	0,19	0,11	0		40		7,6
Cu 22 (sis. T-haaran)	0,15	0,056	0		44		6,6
Cu 18	0,49	0,031			44		21,56
muovi 22	1,5	0,031	0		40		60
varaaja	0	0,031	1,5	1,3			1,95
muovi 22	0,5	0,031	0		40		20
Cu 18 + 3-tie +lsv	0,49	0,031			44	14300	14321,56
Cu 22	1,89	0,056	2	15	42		109,38
Cu 22	0,39	0,047	3	11	32		45,48
Cu 18	0,59	0,033			45	2000	2026,55
Cu 18	1,8	0,022			19	2000	2034,2
Cu 18	1,8	0,011	1	1,7	12	2000	2023,3
Cu 18	0,27	0,011			12		3,24
Cu 18	1,53	0,005	3,5	0,8	6	5500	5511,98
patteri +pat.venttiili	3	0,005	12	0,8	3,5	4000	4020,1
Cu 18	0,87	0,005	2,5	0,8	6		7,22
Cu 18	2,22	0,011	2	1,7	12	3000	3030,04
Cu 18	1,8	0,022	0,5	4	19		36,2
Cu 18	0,88	0,033	3	11	45		72,6
Cu 22	0,39	0,047	0,5	11	32		17,98
Cu 22	0,49	0,056	0,5	15	42		28,08
Cu 28 (imupuoli)	0,64	0,11	1	20	38		44,32

patterin sulkutulppa	10	yhteensä	33449,94 Pa
rotametri	1,5		
lämpömittari putkimatkassa	1		
lämpömittari putkessa	0,5		
			33,44994 kPa

Pumpun 1 virtausteknisesti vaikein reitti

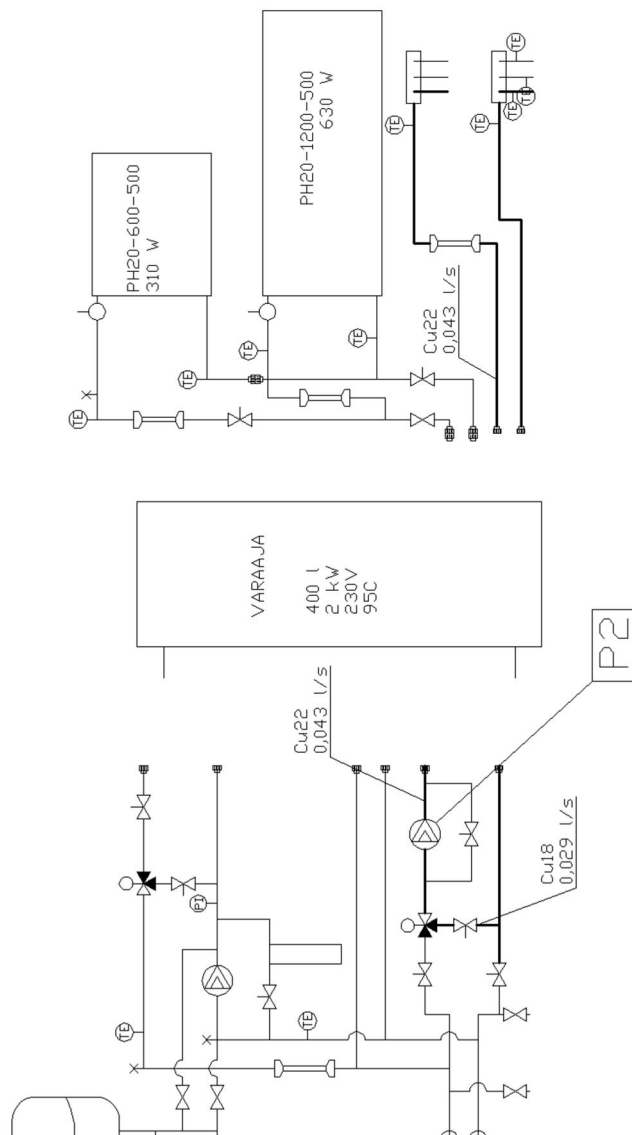


Kuvassa tummennettu putkisto-osuus esittää virtausteknisesti vaikeinta reittiä.

Lattialämmityspiirien pumppu	l (m)	q _v (l/s)	ξ	p _{dyn} (Pa)		Δp (Pa)	Pa		Δp _{kok} (Pa)
				kertavastus	dynaaminen paine		muu	kok. painehäviöt	
Cu 22 (paineputki)	0,22	0,043	0			27		5,94	
muovi 25	2,5	0,043				40		100	
Cu 22	1,6	0,043	4		9	27		79,2	
jakotukki, meno		0,043	3		9			27	
vaikein lattiapiiri (Magicad) + lsv		0,017					14100	14100	
jakotukki, paluu + säätöventtiili		0,043	3		9		3200	3227	
Cu 22	1,48	0,043	2,5		9	27		62,46	
muovi 25	2,5	0,043				40		100	
Cu 22	0,67	0,043				27		18,09	
Cu 18 + lsv (sekoitushaara)	0,31	0,029				38	4000	4011,78	
Cu 22 + 3-tie (imupuoli)	0,32	0,043				27	15020	15028,64	

patterin sulkutulppa	10	yhteensä	36760,11 Pa
rotametri	1,5		
lämpömittari putkimutkassa	1		36,76011 kPa
lämpömittari putkessa	0,5		

Pumpun 2 virtausteknisesti vaikein reitti



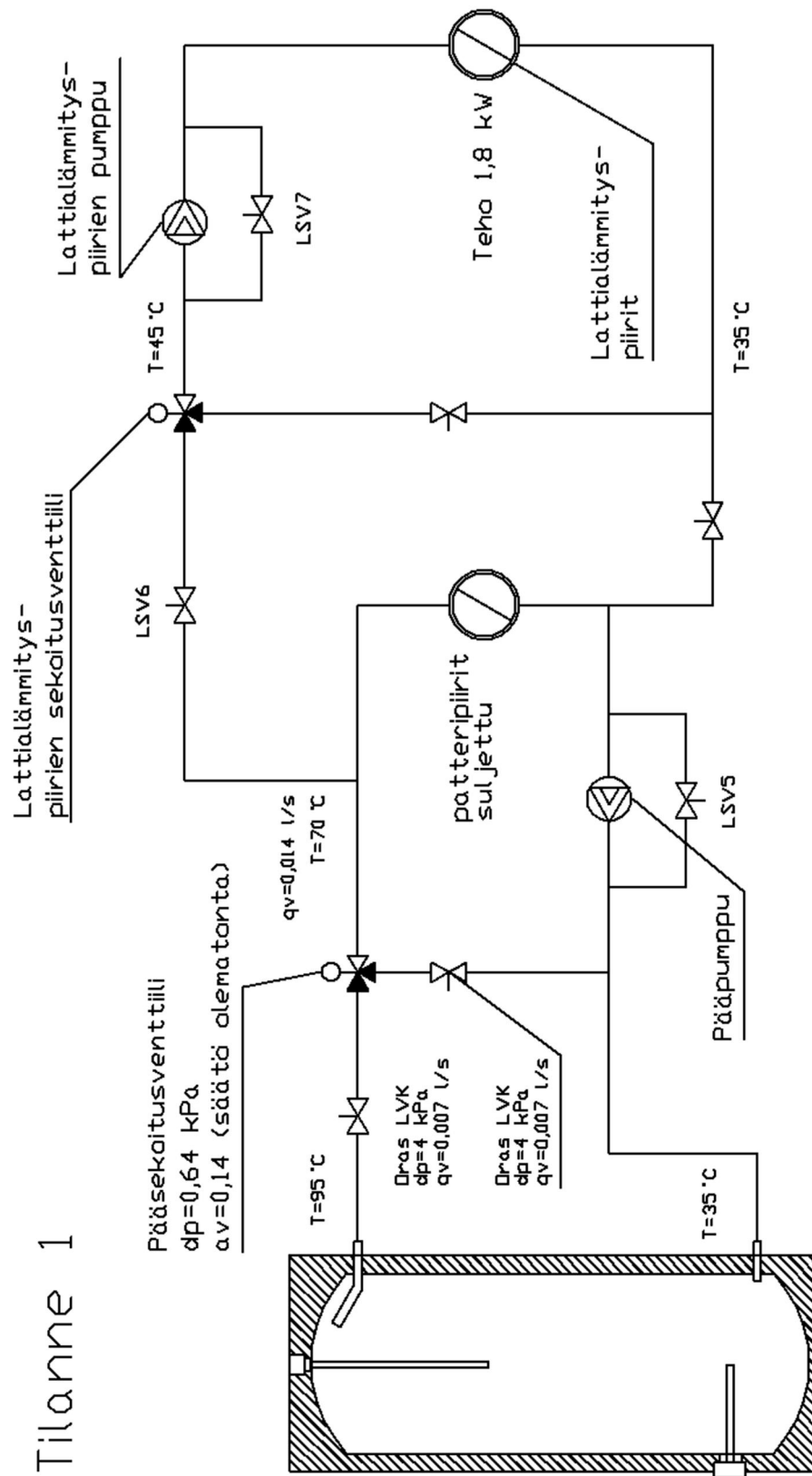
Kuvassa tummennettu putkisto-osuus esittää virtausteknisesti vaikeinta reittiä.

Lattiapiirien vaikeimman reitin painehäviölaskelma

MagiCAD

Description	Material	size	q_v [l/s]	v [m/s]	Δp [kPa]	Δp_{tot} [kPa]
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.05	10.1
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	10.0
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.01	10.0
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	10.0
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.00	10.0
Joint part	Cu	15	0.017			10.0
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.01	10.0
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.07	0.2
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	0.2
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.05	0.1
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	0.1
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.01	0.1
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	0.1
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.01	0.1
Joint part	Cu	15	0.017			0.1
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.00	0.1
Bend-90	Cu	15	0.017		0.00	0.1
Pipe/supply	Cu	15	0.017	0.13	0.02	0.1
Bend-30	Cu	15	0.017		0.00	0.1
Pipe/supply	Cu	12	0.017	0.22	0.00	0.0
Bend-30	Cu	12	0.017		0.00	0.0
Pipe/supply	Cu	12	0.017	0.22	0.01	0.0

Tilannekaaviot

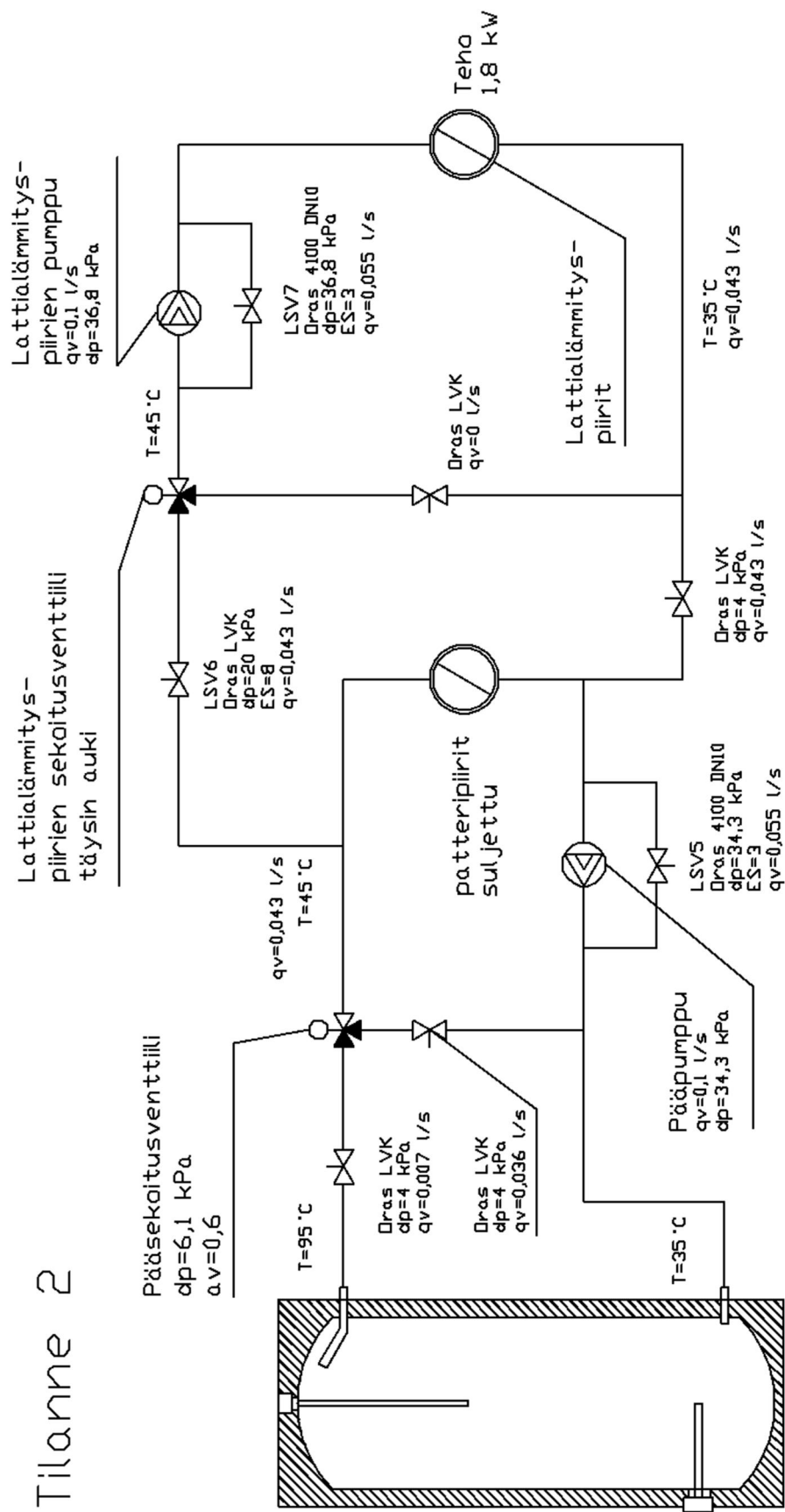


Vain lattialämmityspiirit ovat käytössä.

Pääsekoitusventtiilin auktoriteetiksi tulee vain 0,14. Laitteistoa ei suositella

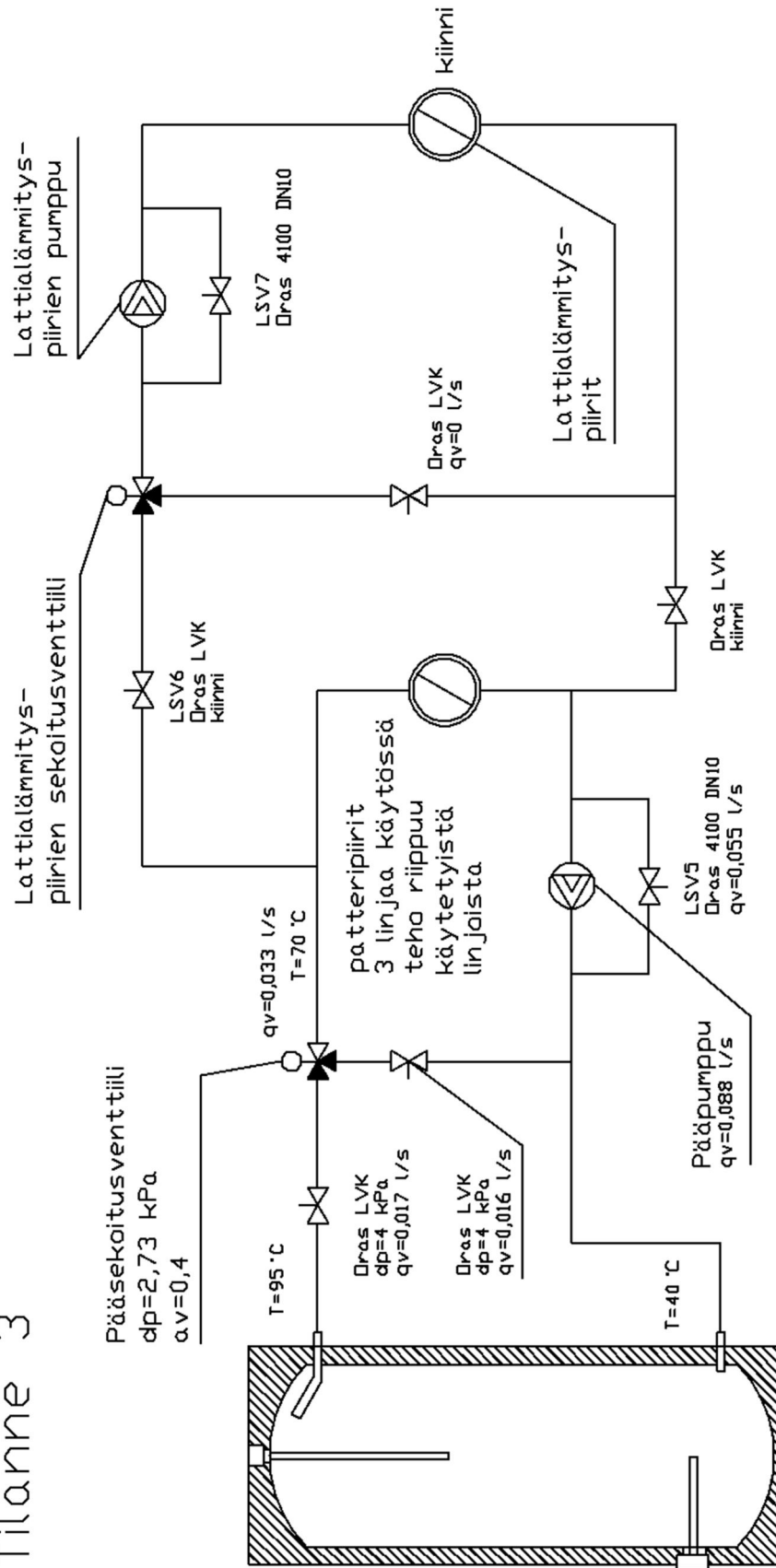
käytettäväksi tällä tavalla. Tämän vuoksi tilanteen tarkastelua ei jatketa pidemmälle.

Tilanne 2



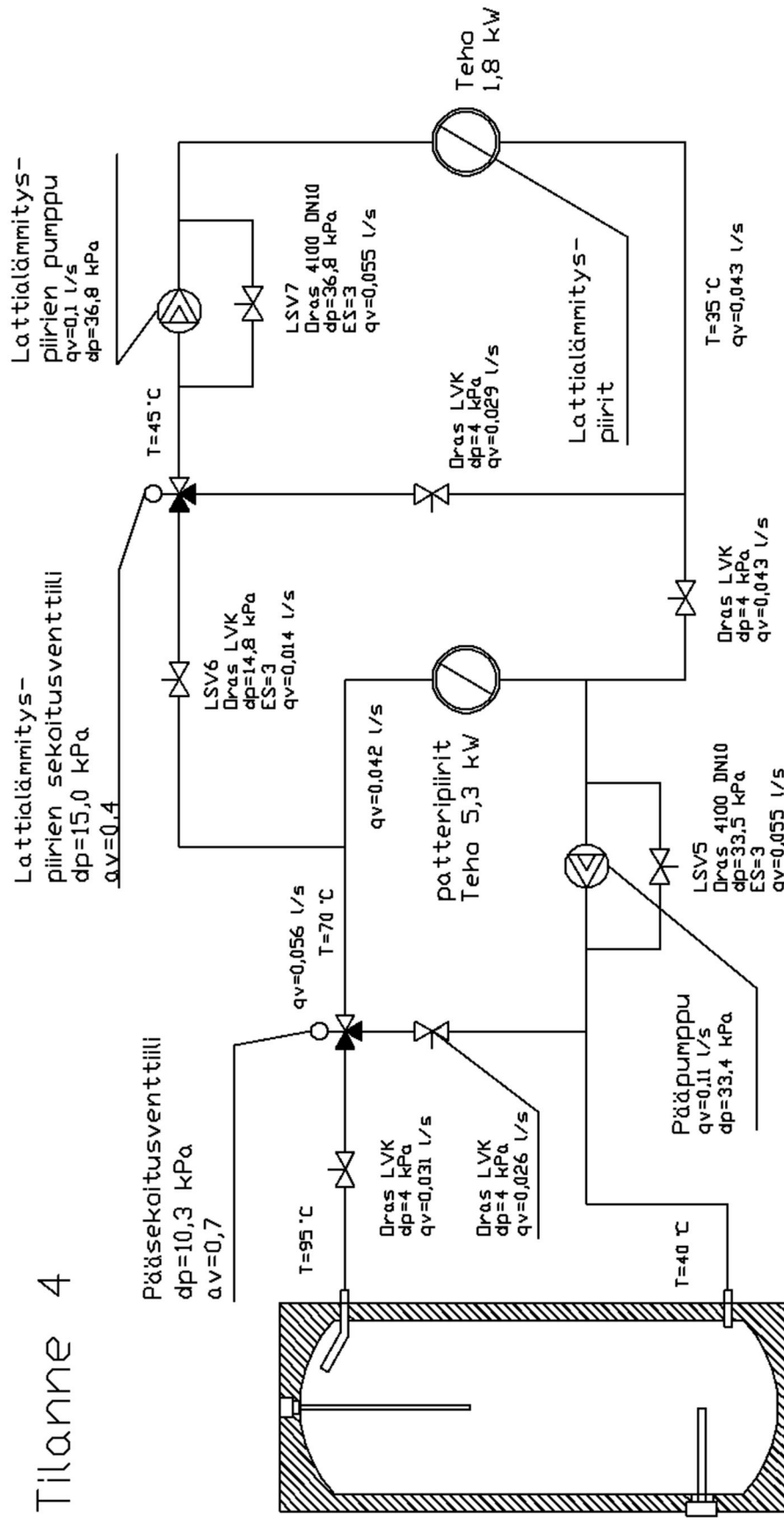
Vain lattialämmityspiirit ovat käytössä.
Pääsekaitusventtiilin auktoriteetiksi tulee 0,6. Lattialämmityspiirien sekausventtiili on täysin auki.
Pumppujen toimintapisteet osuvat hyvin käyräställeen. Tilanne on toimiva.

Tilanne 3



Patterilinja on käytössä kolme.
Pääsekoitusventtiilin auktoriteetti tulee 0,4. Auktoriteetti huononee linjoja ollessa vähemmän käytössä.
Pumppujen toimintapisteet osuvat hyvin käyräställeen. Tilanne on tainiva.

Tilanne 4



Huipputeho kaikki piirit on käytössä.
Pääsekoitusventtiilin auktariteetiksi tulee 0,7 ja lattialämmityspiirien sekoitusventtiilin 0,4.
Pumppujen toimintapisteet osuvat hyvin käyräställeen. Tilanne on taimiva.

Moduulien työselostus

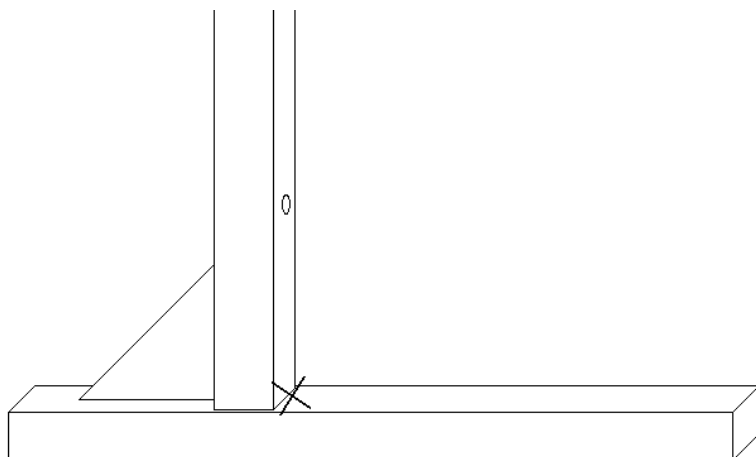
Moduulityö on ehdotonta tarkkuutta vaativa työ. Moduulit rakennetaan tarkasti mittojen mukaan. Porattavien reikien on osuttava täsmälleen oikeille kohdilleen. Huonekaluputket on hitsattava toisiinsa nähden aivan kohdakkain ja suoraan. Jäljempänä esitetyistä kielletyistä kohdista ei saa hitsata. Huonekaluputkista muodostuvien kehikoiden suorien kulmien on oltava tarkalleen 90 astetta.

Moduuleita tehdään yhteensä 10 kpl, joista puolet on ns. ylämoduuleita ja loput alamoduuleita. Moduuleihin käytetään 30 x 30 mm rautaista huonekaluputkea, jonka seinämäpaksuus on esim. 1,5 mm. Huonekaluputkesta tehdään suorakulmion muotoiset kehikot, joista 8 kpl on ulkomitoiltaan 1800 x 1150 mm ja 2 kpl 1600 x 1150 mm. Kädenkahvat nostamista varten tehdään pyöreästä rautaisesta putkesta, jonka ulkohalkaisijan on oltava alle 30 mm, mieluiten 25 mm tai siitä läheltä. Kahvojen on kuitenkin kestävä kymmeniä kiloja nostettaessa. Rautaiset liitoslaipat tehdään 5 mm paksusta levystä. Liitteessä 13 (moduulien rakennuskuvat 1 ja 2) esitetään mihin kahvat ja moduulien rautaiset liitoslaipat hitsataan. Samaisessa liitteessä näkyvät myös porattavien reikien paikat ja koot.

Moduulijalkoja tehdään 7 kpl. Jalat koostuvat varsiosasta (rautainen 50 x 50 mm huonekaluputki seinämäpaksuudeltaan esim. 2 mm) ja jalasosasta (rautainen 60 x 40 mm huonekaluputki seinämäpaksuudeltaan esim. 2 mm). Jalas voidaan tehdä leveämmäksikin kuin 60 mm. Varren pituus on 2180 mm ja jalaksen pituus 600 mm. Liitteessä 13 sivulla 2 on kuva moduulien jaloista. Jalasten alle kiinnitetään kierrettävät tallat, joilla on tarkoitus eliminoida lattian mahdollisesta epätasaisuudesta johtuvia haittoja.

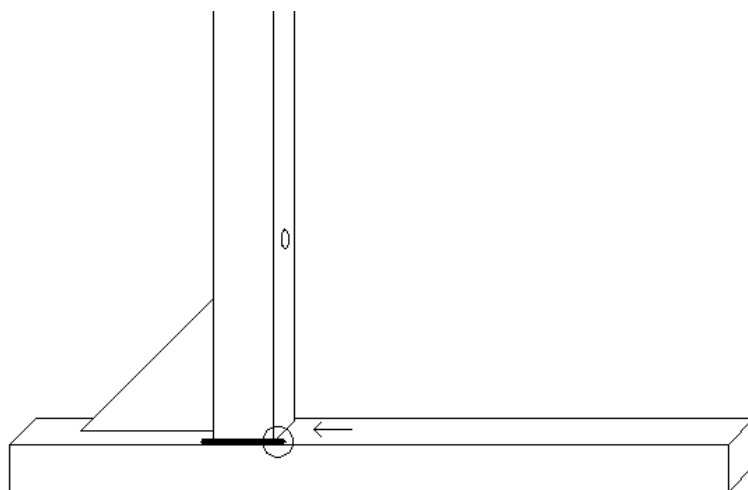
Moduulikehikoiden etupuolelle kiinnitetään 21 mm paksut taustavanerilevyt. Huomaa, että levyjen on oltava moduulikehikkoja hieman pienempiä, etteivät moduulit olisi vanereiden varassa. Vanerilevyjä tarvitaan 8 kpl 1738 x 1140 mm ja 2 kpl 1538 x 1140 mm. Vanerit kiinnitetään moduulikehikkojen sisäsivulaippoihin. Kiinnityspulttina käytetään halkaisijaltaan 10 mm:n lukkoruuveja kuusiomuttereineen.

Seuraavissa kuvissa on esitetty kohdat, joista ei missään tapauksessa saa hitsata. Mikäli näistä kohdista hitsataan, eivät moduulit tule asettumaan kohdilleen vesiputkiin nähden, eikä moduulien käytön turvallisuuttakaan voida taata.



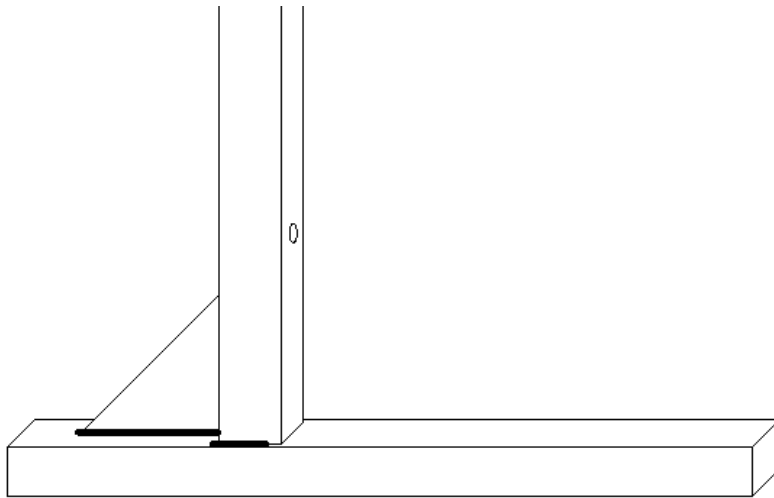
Kuva 1. Jalaksen hitsaaminen varteen

Kuvassa 1 rasti merkitsee huonekaluputken sivua, johon ei saa tehdä hitsaussaumaa eikä mitään muutakaan kohoumaa. Kaikkialta muualta täytyy hitsata jalasta kiinnitettäessä.



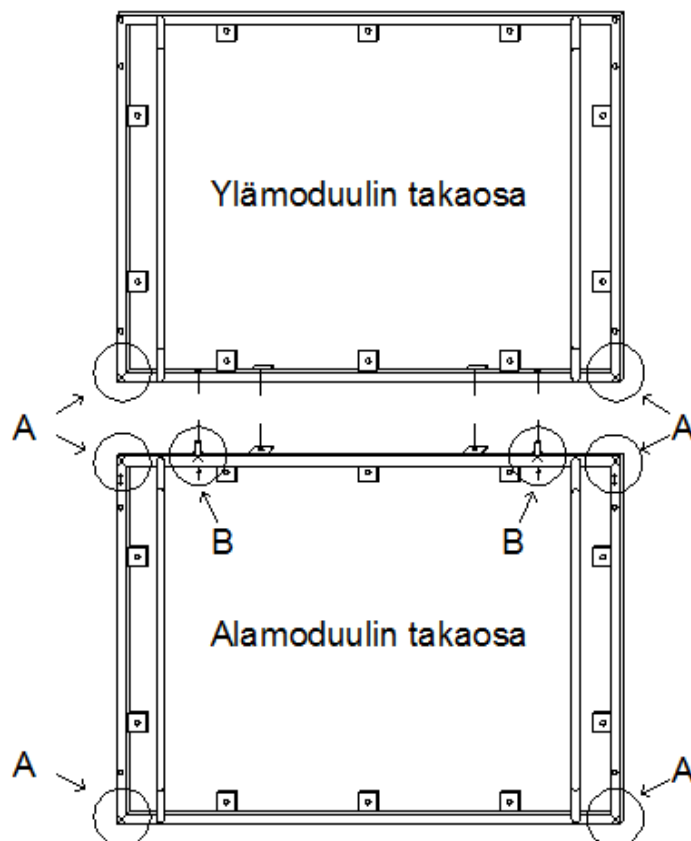
Kuva 2. Jalaksen hitsaaminen varteen

Kuvassa 2 on hitsaus tehty väärin, sillä ympyrän sisällä oleva hitsaussauma ylittää nuolen osoittamalle alueelle, johon ei saa hitsata.

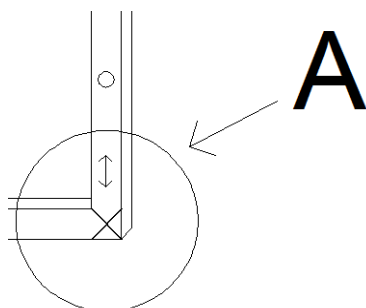


Kuva 3. Jalaksen hitsaaminen varteen

Kuvassa 3 hitsaus on tehty oikein.

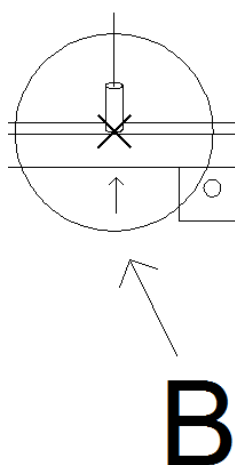


Kuva 4. Moduulien takaosat



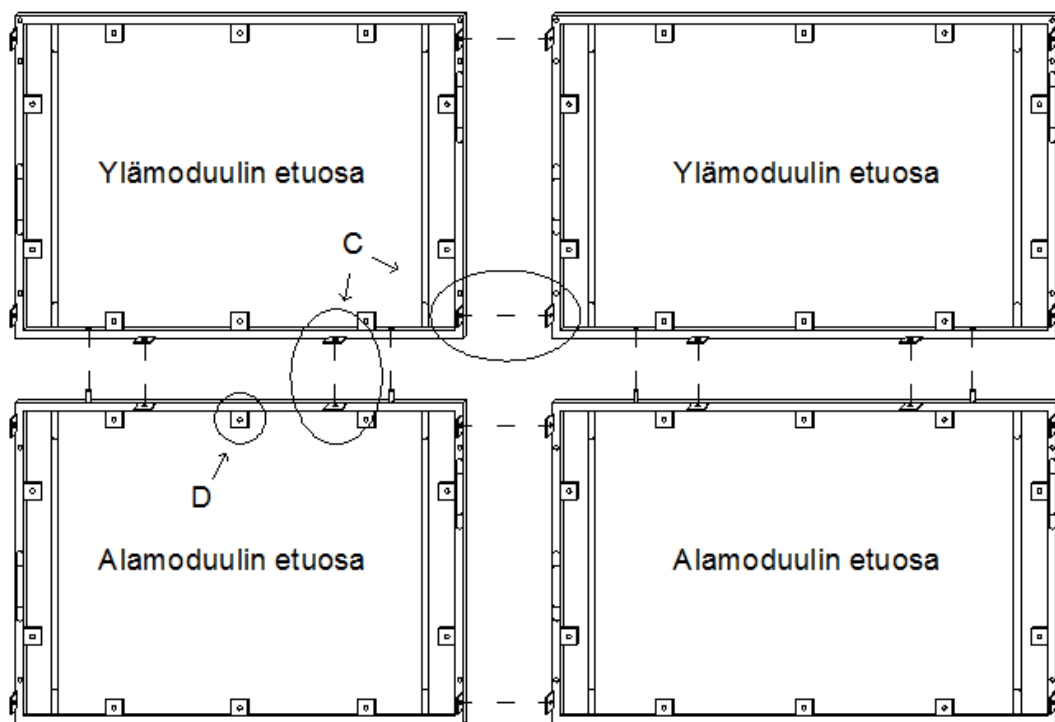
Kuva 5. Kohta, joista ei pidä hitsata moduulien takana

Kuvassa 5 rasti näyttää paikkaa, johon ei saa hitsata. Koko huonekaluputken pystysuora sivu alamoduulin alaosaan aina ylämoduulin yläosiin asti on aluetta, johon ei saa tulla minkäänlaisia kohoumia. Kaksipäinen nuoli yrittää näyttää tätä aluetta. Hitsaus täytyy tehdä moduulien etuosaan ja esim. sisäsivujen nurkkaan, sillä moduulijalan varsi kulkee takaosassa vasten tätä pystysuoraa tasaista aluetta. Moduulien tarkoitus on puristua jalkavartta vasten, ja suoristua, kun muttereita kiristetään. (Katso myös kuva 4.)

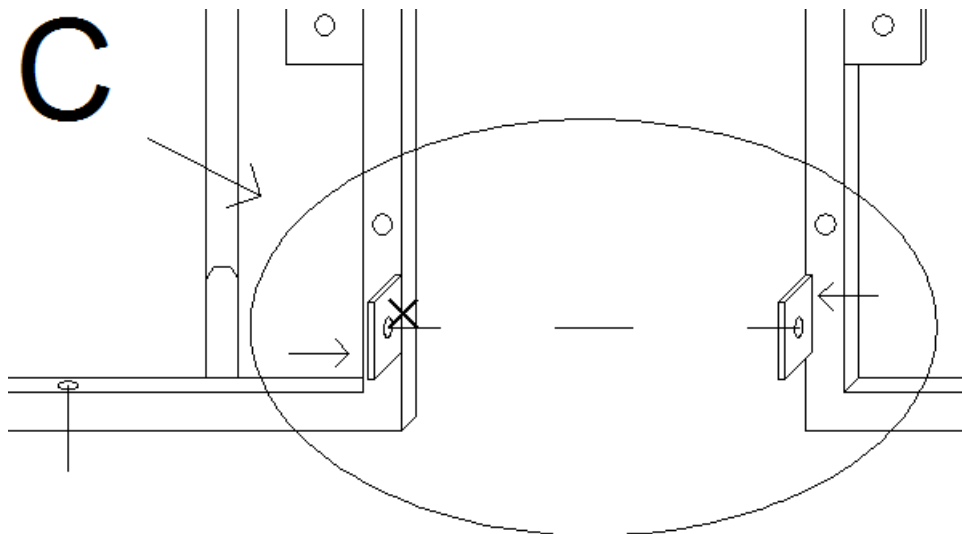


Kuva 6. Kohta, joista ei pidä hitsata moduulien takana

Kuvassa 6 Rasti merkitsee kohtaa, josta ei saa hitsata. Jos kohdasta hitsataan, ylämoduuli keikkuu alamoduulin päällä, eikä asetu tiiviisti alamoduuliin kiinni. Rautatappia varten täytyy porata reikä läpi huonekaluputken molemmista seinistä. Tappi hitsataan kiinni pikkunuolen osoittamasta kohdasta. (Katso myös kuva 4.)



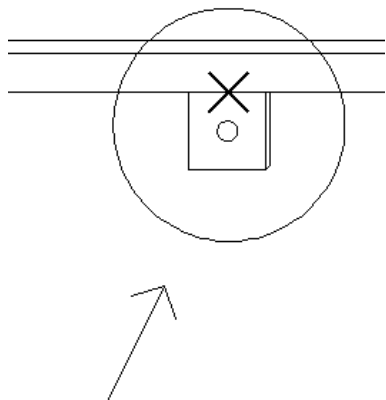
Kuva 7. Moduulien etuosat



Kuva 8. Kohdat, joista ei pidä hitsata moduulien etupuoolella

Kuvassa 8 on kiinnityslaipat, joilla moduulit kiinnitetään pultilla toisiinsa. Hitsausta ei saa tehdä kiinnityslaipoille rastin kohtaan, vaan se täytyy tehdä laippojen toiselle puolelle, jota pienet vaakanuolet yrittävät demonstroida. Laipat täytyy kiinnittää erityisen

huolellisesti, niin että moduulin ulkosivu on aivan tasassa laipan sivun kanssa. (Katso myös kuva 7.)



D

Kuva 9. Kohta, joista ei pidä hitsata moduulien etupuolella

Kuva 9 esittää laippoja, joilla taustavanerit kiinnitetään. Rastin merkitsemään kohtaan ei pidä hitsata, vaan hitsaus täytyy tehdä laipan toiselle puolelle. (Katso myös kuva 7.)

Moduulirakenteen tarkoitus

Hankkeen tarkoituksena on rakentaa suuri tukikehikko taustavanerilevyineen, joka koostuu ns. ylämoduuleista, alamoduuleista, ja irrotettavista moduulijaloista, jotka pitävät laitteiston pytyssä. Käyttäjän tulee kyetä kahden miehen voimalla kokoamaan tukikehikon suoraksi, tukevaksi ja turvalliseksi kiinnittämällä moduuleita toisiinsa niiden kiinnityslaipoistaan kuusioruuvein ja mutterein. Jalat ovat myös kuusioruuveilla ja muttereilla kiinnitettäviä. Yksi moduuli kantaa useita kymmeniä kiloja. Laitteisto täytyy kyetä purkamaan moduuleiksi ja kokoamaan yhä uudelleen, niin että moduulit asettuvat aina tarkasti ja suoraan omille paikoilleen.

Moduuleista kokoaminen ja moduuleiksi purku

Seuraavat kappaleet käsittelevät jo valmiita moduuleita, kuinka niistä kootaan toimiva laboratoriolaitteisto ja kuinka se taas puretaan moduuleiksi kuljetusta varten. Kokoamisessa, purkamisessa ja kuljetuksessa käytetään vähintään kahta voimakasta henkilöä. On hyvä pitää mielessä, että yksi moduuli painaa kymmeniä kiloja.

Kokoaminen

Moduuleista kootaan laboratoriolaitteisto, niin että se on tukeva, turvallinen ja kaikki mutterit huolellisesti kiristetty. Kokoamisperiaate on yksinkertainen. Irtonaisia osia ovat vain moduulijalat, ylämoduulit ja alamoduulit, joita kiinnitellään toisiinsa kuusioruuvella ja niiden muttereilla (liite 7, s. 1–2). Ruuvien halkaisija on 12 mm. Moduulien kokoaminen aloitetaan huoneen nurkasta. Moduuleita ei saa asettaa kuitenkaan liian lähelle nurkkaa, vaan mutterinkääntäjälle on jätettävä riittävä väli. Kokoaminen aloitetaan asettamalla moduulijalat niin lähelle huoneen takaseinää kuin mahdollista. Kun ensimmäinen jalka on asetettu, voidaan toisen jalan paikka selvittää vaikka mittaamalla moduulista. Näin välttyään hankalalta jalkojen paikankorjailuilta raskaiden moduulien alla.

Alamoduulit kiinnitetään tietysti ensimmäisenä. Ne nostetaan paikoilleen niin, että niiden paino on jalasten päällä ja jalan varsi moduulin takana. Moduuleissa on kahvat nostamista ja kuljettamista varten sekä edessä että takana. (Katso liite 7, sivu 3.) Päädyn (lämmönjakohuonemoduulin) alamoduuli kiinnitetään ensimmäisenä jalkavarsiin, niin että sille tulee kaksi jalkaa. (Katso liite 7, sivu 4.) Sen jälkeen kiinnitetään linjan numero 1 alamoduuli niin, että sille tulee vain yksi jalka. Päätymoduulin jalaksella on sen verran tilaa, että linjan 1 alamoduulin kulma mahtuu lepäämään sillä. Linjan yksi alamoduuli kiinnitetään päätymoduuliin ja toisesta päästä jalkaansa. (Katso liite 7, sivu 5.) Sitten kiinnitetään linjan 2 alamoduuli samoin kuin linjan 1. Näin jatketaan, kunnes kaikki alamoduulit on kiinnitetty.

Tämän jälkeen kiinnitetään lämmönjakomoduulin ylämoduuli. On tärkeää, että aloitetaan aina siitä moduulista, jolla on kaksi jalkaa, ja edetään järjestyksessä aina seura-

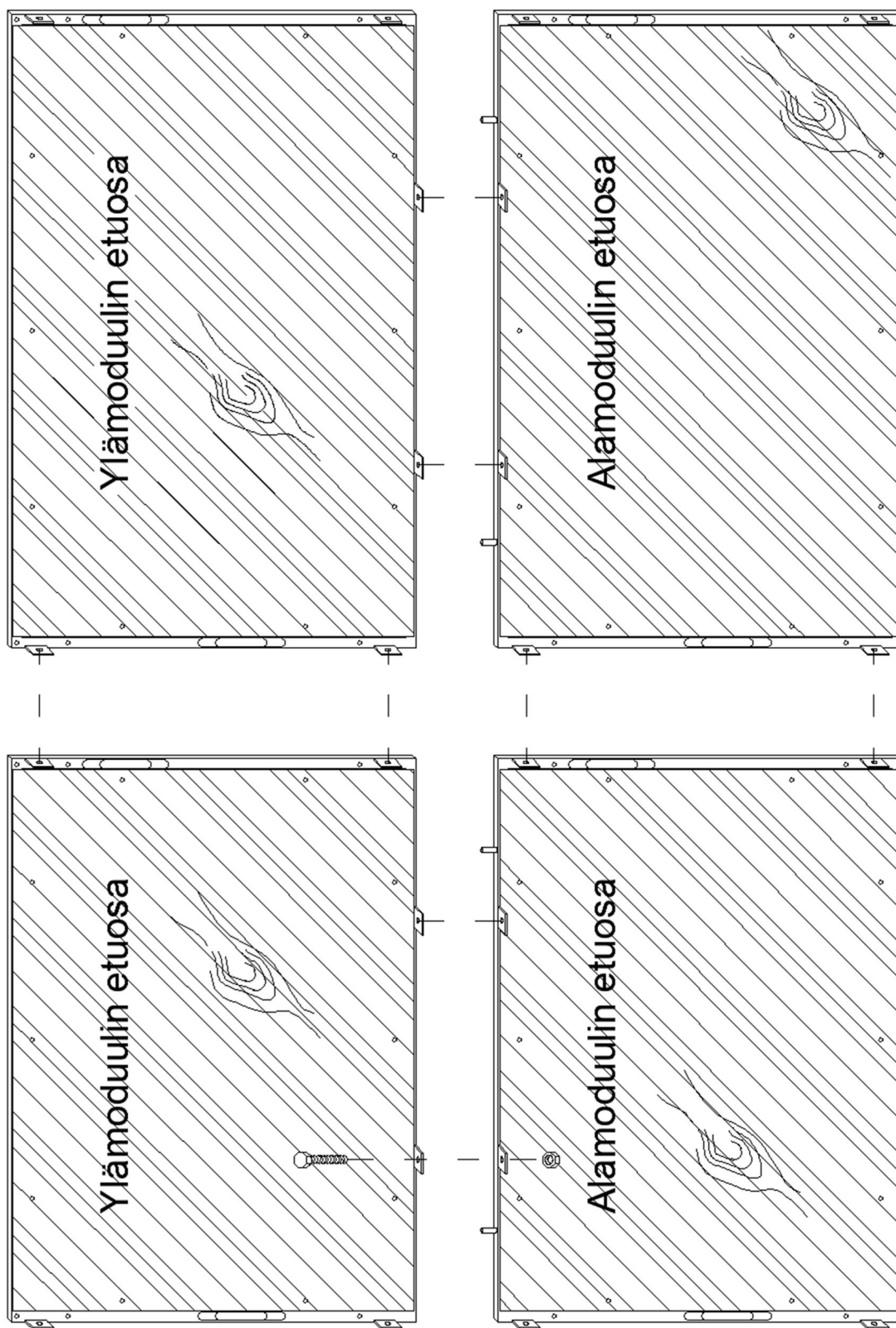
vaan moduuliin. Näin vältetään mahdottomalta tilanteelta, jossa kiinnittäjän täytyisi mahtua rakennelman taakse tekemään kiinnitystöitä. Ylämoduulien kiinnityksperiaate on sama kuin alamoduuleilla paitsi, että ne täytyy nostaa alamoduulien päälle, niin että alamoduuleissa olevat tapit osuvat ylämoduulien reikiin. Nämä tapit toivottavasti tekevät kokoamisesta turvallisemman, sillä 30 x 30 mm:n huonekaluputki on aika pieni kokoamisesta. Ylämoduulilla on vaara luiskahtaa, ennen kuin kiinnitysmutterit on kiristetty. Toisen henkilön täytyy ehdottomasti pitää kiinni ylämoduulista tapeista huolimatta kiinnitysoperaation ajan. Ylämoduulit ja alamoduulit kiinnitetään myös keskenään pulteilla ja muttereilla.

Yksinäinen laboratoriotilan päätyseinän moduuli linja 4 kiinnitetään tietysti kahdella jalalla. Kun kokoaminen on saatettu päätökseen, laitteisto kiinnitetään turvallisuuden vuoksi vielä seinään. Seinäkiinnitystä varten ylämoduuleiden yläkulmissa on reiät. On mahdollista kiinnittää vaikka jokainen ylämoduuli seinään moduulien samankaltaisuuden vuoksi, mutta yksi laitteiston kummastakin päädyistä tehty kiinnitys riittänee. Kiinnitys tehdään kierretangolla. Seinään porataan reikä, johon pannaan messinkiankkuri. Kierretanko pujotetaan moduulin kiinnitysreiästä ja mutteri kierretään tankoon seinän ja moduulin väliin. Tämän jälkeen kierretanko kierretään messinkiankkuriin ja toinen mutteri tangon päähän. Kun nämä kaksi mutteria kiristetään tangossa, jää moduulin huonekaluputki niiden väliin. Näin moduuli ei pääse kaatumaan eteen eikä taaksepäin. (Katso liite 7, sivu 6.)

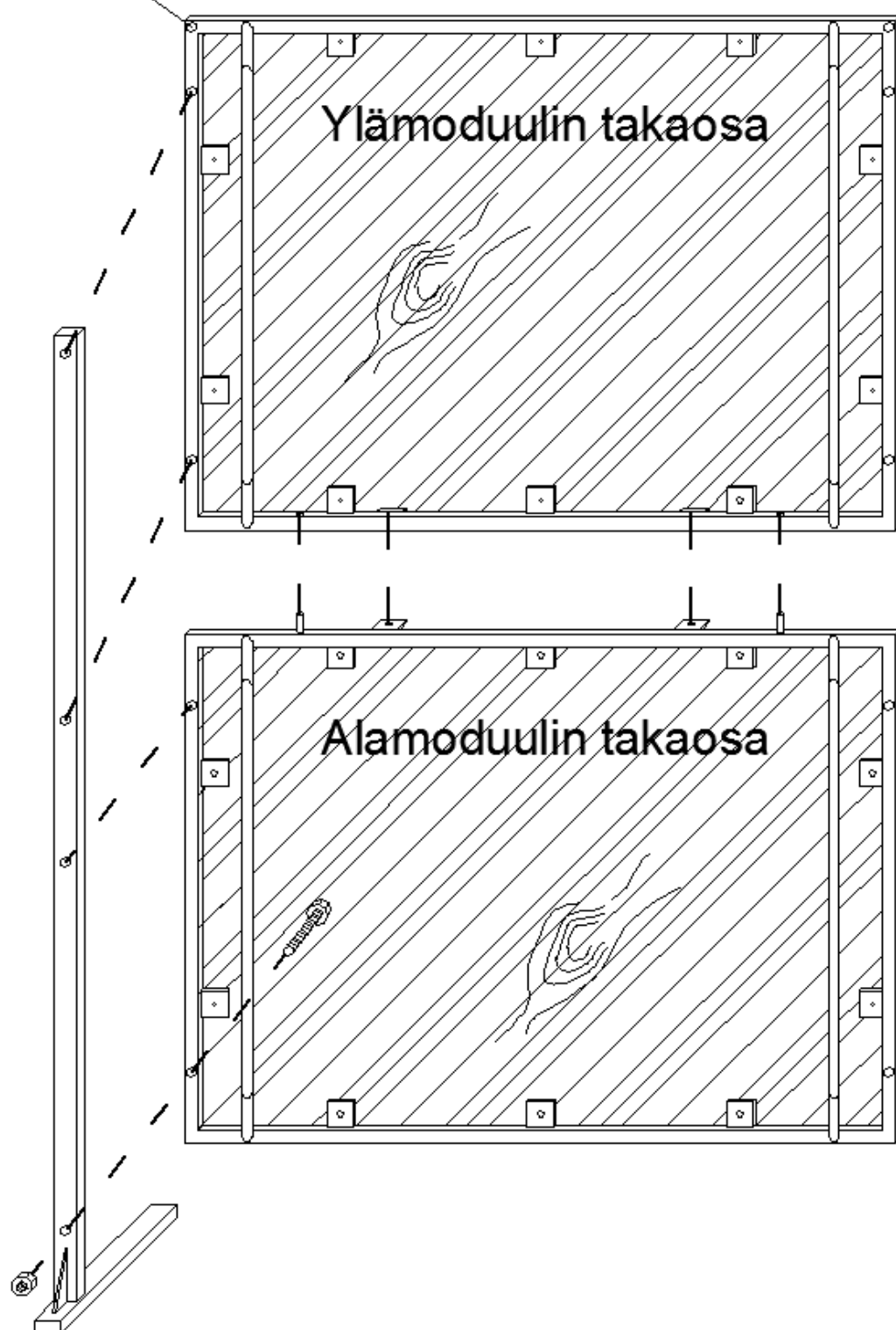
Purkaminen

Purkaminen tehdään myös järjestyksessä, mutta järjestys on päinvastainen. Ylämoduulit irrotetaan ensin. Purkamista ei voi aloittaa lämmönjakomoduulista, sillä siihen on kiinnitetty kaksi jalkaa ja näin ollen toinen jaloista jää laitteiston taakse purkajan ulottumattomiin. Turvallisuuden tähden kierretään irti ensin ne pultit, jotka kiinnittävät moduulin toisiin moduuleihin ja vasta viimeisenä pultit, jotka kiinnittävät moduulin jalkaan. Tässä vaiheessa täytyy olla jo toinen henkilö pitämässä moduulista kiinni. Ylämoduuleita täytyy aina hieman nostaa irrotettaessa, että alamoduulin turvatapit saadaan pois ylämoduulin rei'istä.

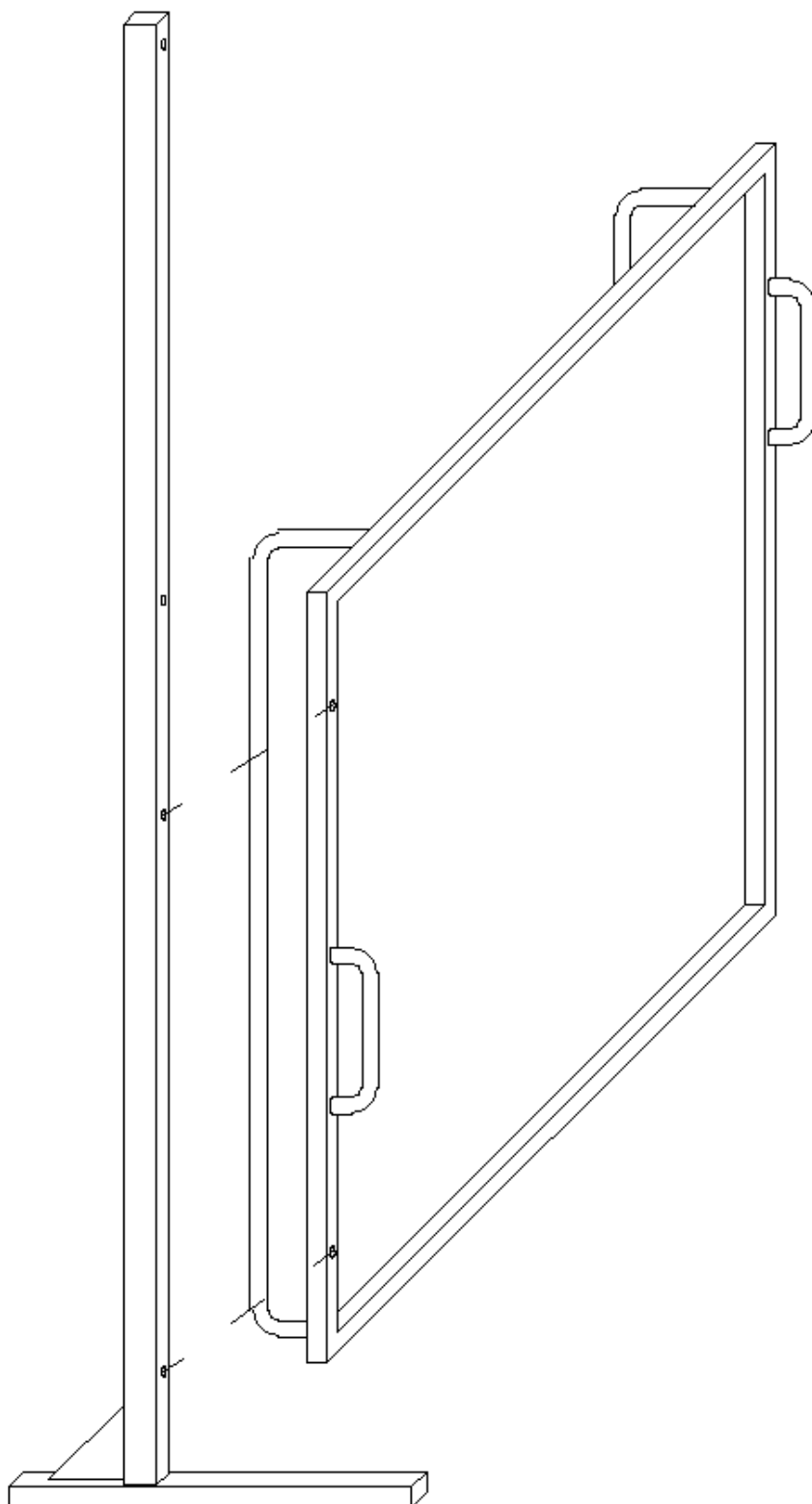
Kokoamis- ja purkukuvat



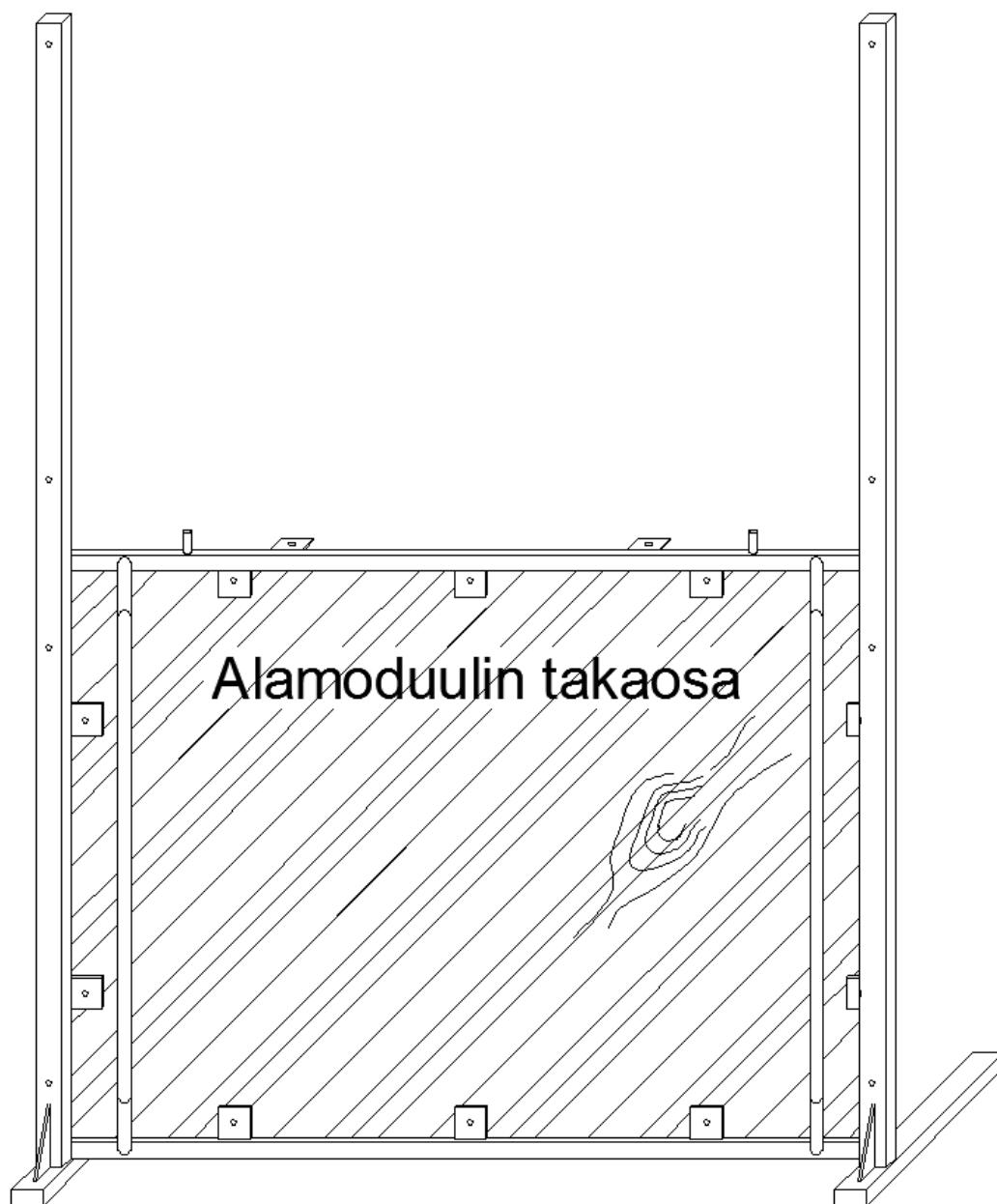
seinäkiinnitysreikä



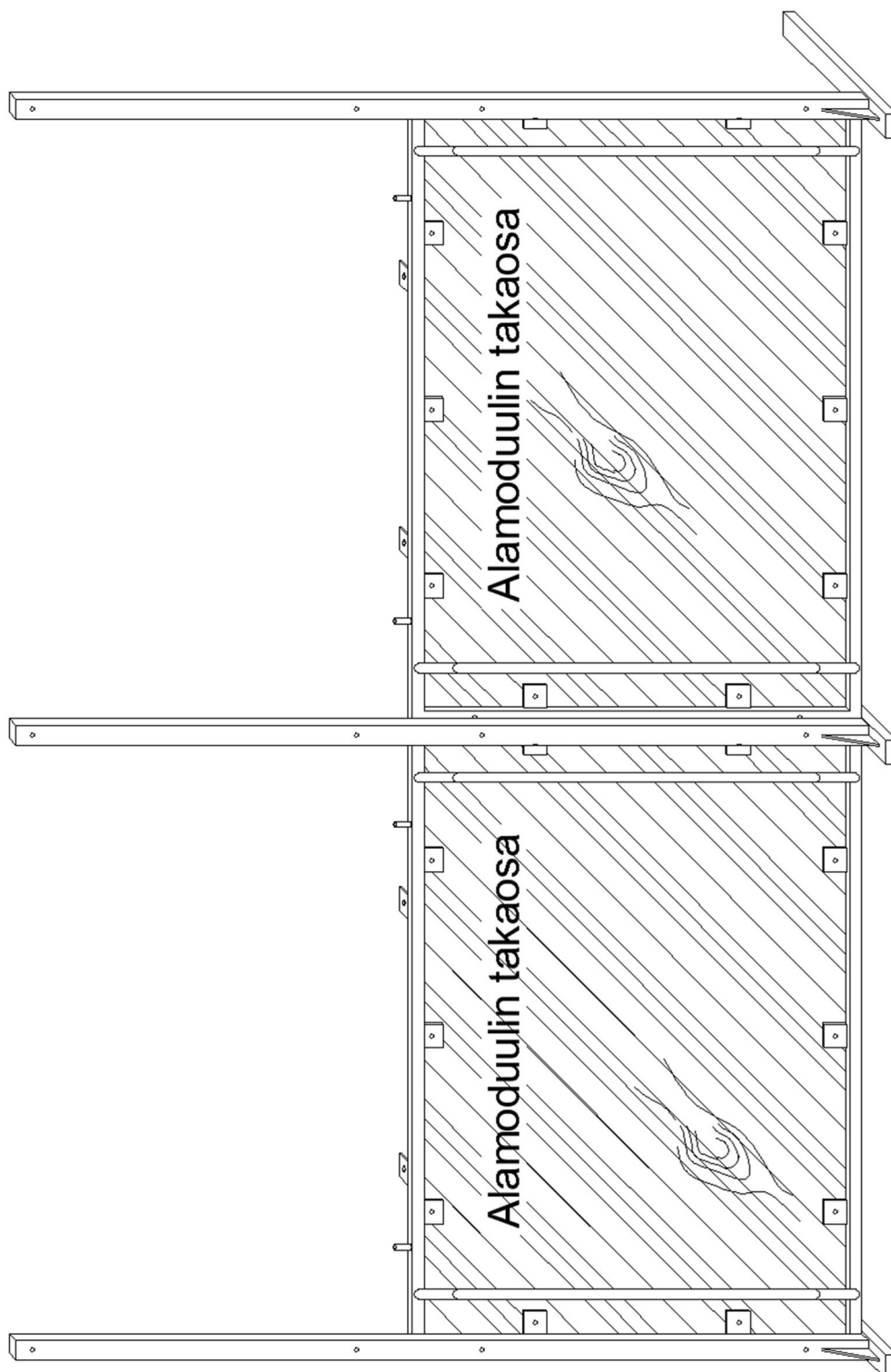
Moduulin paikalleen asettelu



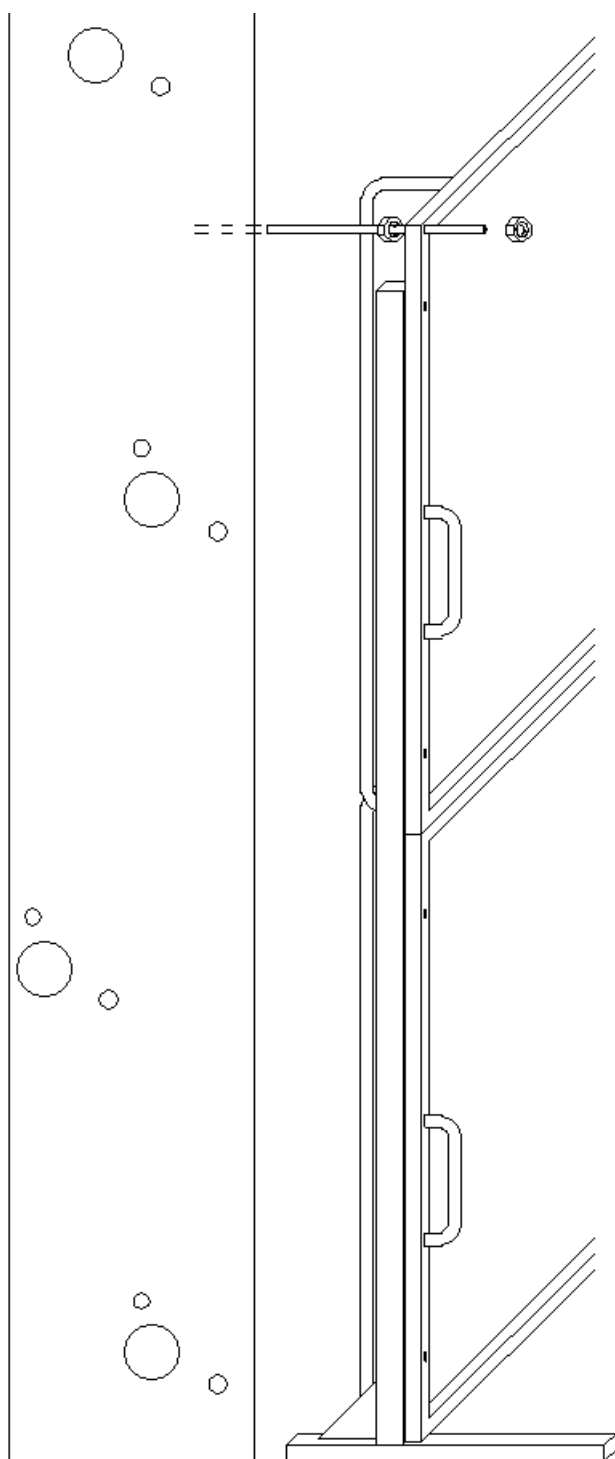
Ensimmäisen moduulin kiinnitys



Seuraavien moduulien kiinnittäminen



Seinäkiinnitys



Pääsekoitusventtiilin säätöpiiri huipputehon aikoihin, kaikki linjat auki. (Tilanne 4 toimintatarkastelukappaleessa.)

	l (m)	q_v (l/s)	ξ	p_{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	p_a	Δp_{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen paine	painehäviö	muu	kok.painehäviöt
Cu 18	0,49	0,031			44	4000	4021,56
muovi 22	1,5	0,031			40		60
varaaja		0,031	1,5	9			13,5
muovi 22	0,5	0,031			40		20
Cu 18	0,49	0,031			44		21,56

yhteensä 4136,62 Pa
4,13662 kPa

Pääsekoitusventtiilin säätöpiiri vain lattiapiirien ollessa käytössä. (Tilanteet 1-2 toimintatarkastelukappaleessa.)

	l (m)	q_v (l/s)	ξ	p_{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	p_a	Δp_{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen paine	painehäviö	muu	kok.painehäviöt
Cu 18	0,49	0,007			2	4000	4000,98
muovi 22	1,5	0,007			2		3
varaaja		0,007	1,5	0,4			0,6
muovi 22	0,5	0,007			2		1
Cu 18	0,49	0,007			2		0,98

yhteensä 4006,56 Pa
4,00656 kPa

LSV6 esisäätoarvomääritys huipputehon aikoihin, kaikki linjat auki

	l (m)	q_v (l/s)	ξ	p_{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	Pa	Δp_{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen	paine	muu	kok.painehäviöt
Vaikein reitti (linja3 ylin patteri)							
Cu 18	0,59	0,033			45	2000	2026,55
Cu 18	1,8	0,019			19	2000	2034,2
Cu 18	1,8	0,009	1	1,7	12	2000	2023,3
Cu 18	0,27	0,009			12		3,24
Cu 18	1,53	0,005	3,5	0,8	6	5500	5511,98
patteri +venttiili	3		2	0,8	3,5	4000	4012,1
Cu 18	0,87	0,005	2,5	0,8	6		7,22
Cu 18	2,22	0,009	2	1,7	12	3000	3030,04
Cu 18	1,8	0,019	0,5	4	19		36,2
Cu 18	0,88	0,033	3	11	45		72,6
Cu 22	0,39	0,048	0,5	11	32		17,98
Cu 22	0,49	0,056	0,5	15	42		28,08
Cu 28	0,64	0,11	1	20	38		44,32

yhteensä 18847,81 Pa
18,84781 kPa

Vähennetään putkiosuus, jossa määritettävä venttiili on

Cu 22	0,65	0,014	2	1	5	5,25
Cu 22 + lsv	0,57	0,014	2	1	5	4004,85

tulos 14837,71 Pa
14,83771 kPa

Oras LVK-linjasäästöventtiili (LSV6) ES = 3

**Lattialämmityspiirien sekoitusventtiilin säätöpiiri huipputehon aikoihin, kaikki linjat auki.
(Tilanne 4 toimintatarkastelukappaleessa.)**

	l (m)	q _v (l/s)	ξ	p _{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	Pa	Δp _{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen	painehäviö	muu	kok.painehäviöt
Cu 22+ LSV6	0,7	0,014	2	1	5	14837,76	14843,26
Cu 22+ lsv	0,57	0,014	2	1	5	4000	4004,835

yhteensä 18848,095 Pa

18,848095 kPa

Pääpumppu, kun lattiapiirit on ainoastaan käytössä. (Tilanne 2 toimintatarkastelukappaleessa.)

	l (m)	q _v (l/s)	ξ	p _{dyn} (Pa)	Δp (Pa)	Pa	Δp _{kok} (Pa)
	putkimetri	virtaama	kertavastus	dynaaminen	painehäviö	muu	kok.painehäviöt
painepuolelta aloitetaan Cu 28	0,19	0,098			33		6,27
Cu 22	0,15	0,043			26		3,9
Cu 18	0,49	0,007			2		0,98
muovi 22	1,5	0,007			2		3
varaaja		0,007	1,5	0,4			0,6
muovi 22	0,5	0,007			2		1
Cu 18 3-tie +LSV	0,49	0,007			2	10100	10100,98
Cu 22 virtaama ei muutu + LSV6 meno	2,76	0,043	5,5	8	26	20000	20115,76
Cu 22 virtaama ei muutu + LSV paluu	1,44	0,043	3	8	26	4000	4061,44
Cu 28 imupuolelle lopetetaan	0,41	0,098	1	16	33		29,53

Oras 4100 dn10 (LSV 5) ES=3 tällöin 34,3 kPa
oras LKV(LSV 6) ES=8 tällöin 20 kPa

yhteensä

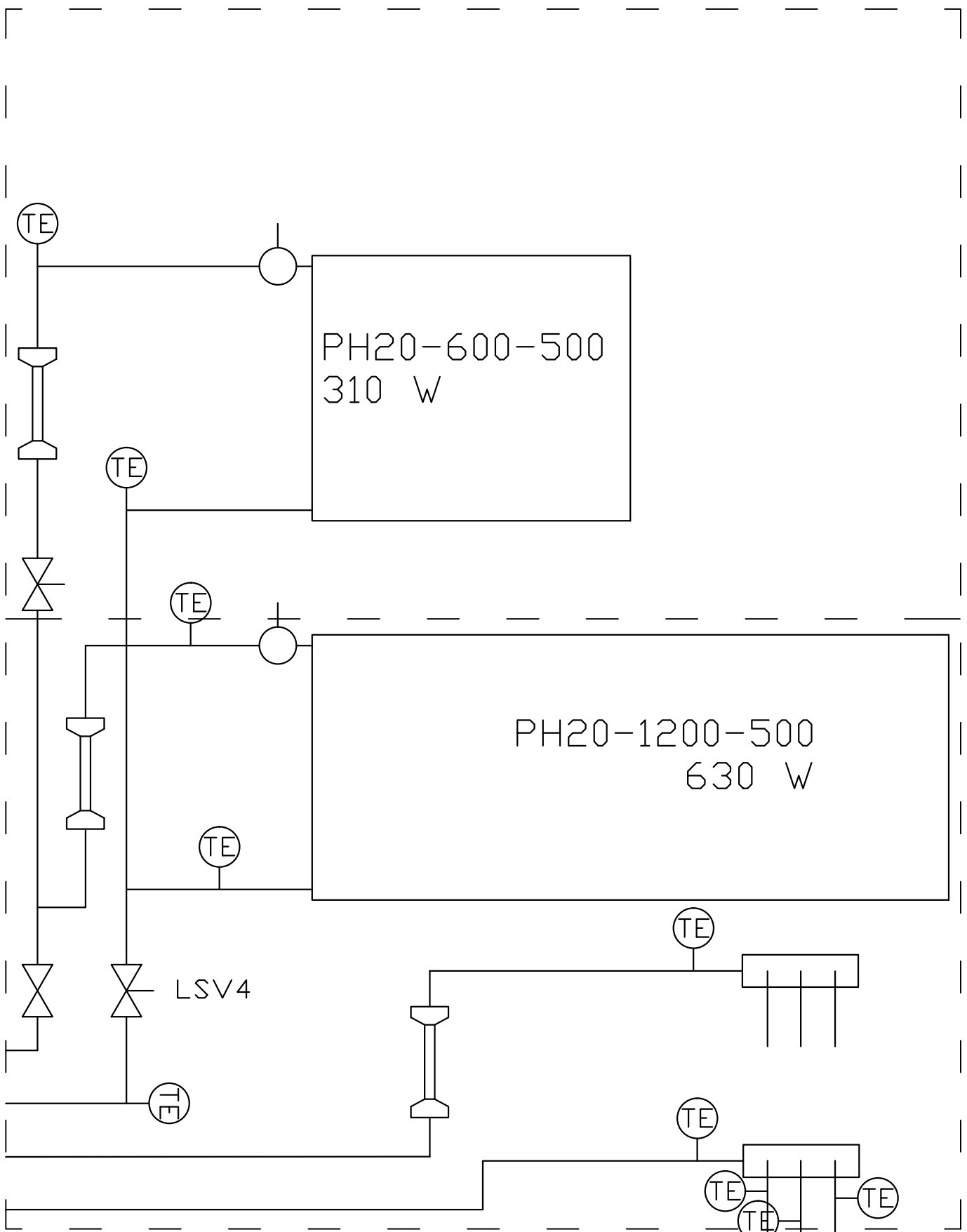
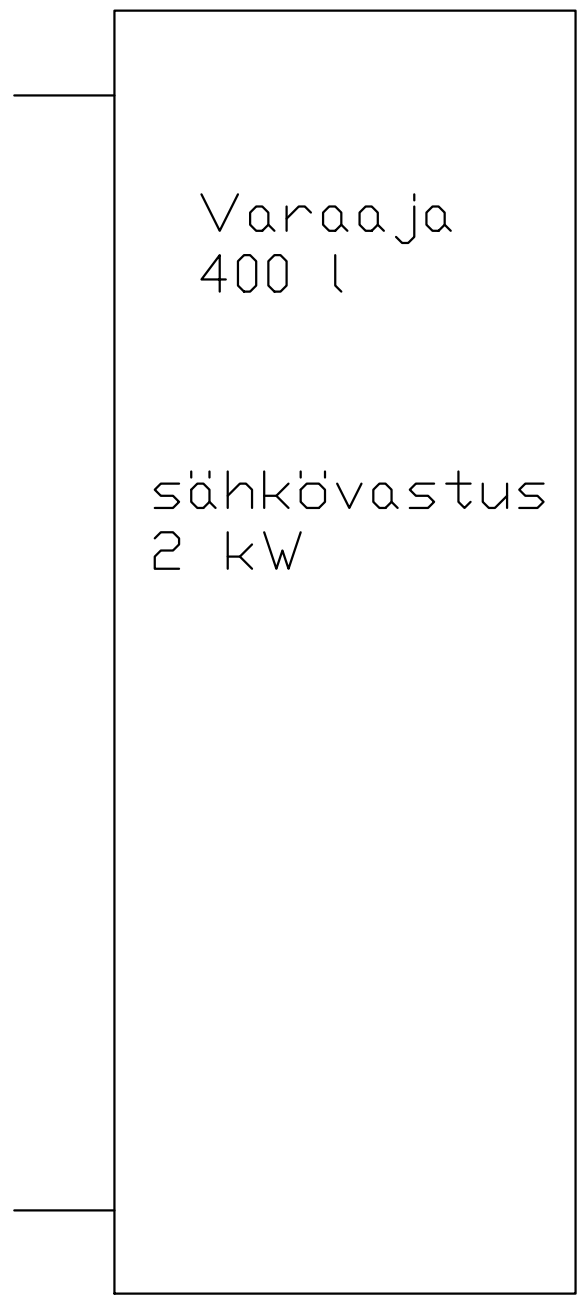
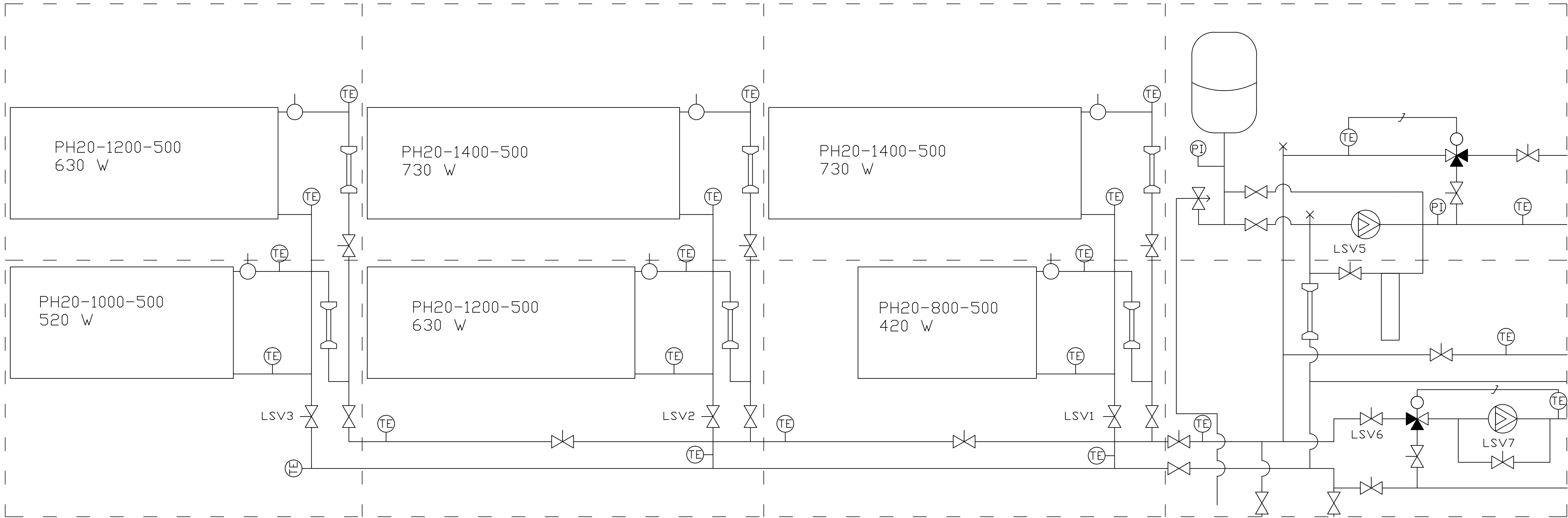
34323,46 Pa

34,32346 kPa

LSV 5 huipputehossa

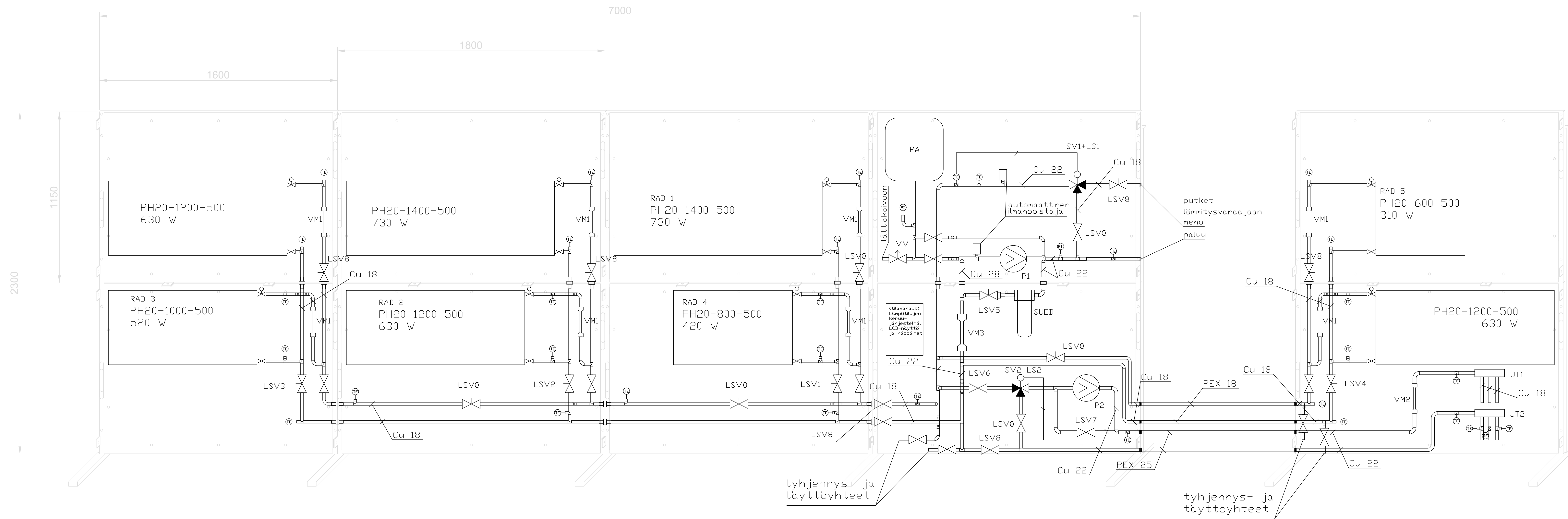
Oras 4100 dn10 (LSV 5) ES=3 tällöin 33,5 kPa

pumpun toimintapiste (magna 25-40) OK



Kytkentäkaavio Liite 10

Projekti / Työ		Käsitelty / Suoritetty		Vastuunotto / Vastuunotto	
LABORATORIOALAITTEISTO		TASOKUVA		1	
METROPOLIA AMK		LÄMMITYS			
YANHA MAANTIE 6		KYTKENTÄKAAVIO			
02650 ESPOO		SÄJ & SK		SAMPD_JUSLIN & SAMUEL KYLLÖNEN	
		CAD		LVI	
		Y-0000/00		Y-0000/00	
		30.5.2012			



LVI-asennuskuva liite 11

[illegible]

LVI-työselostus

Yleistä putkiston asennuksesta moduuliin

Tämän työselostuksen ohella on tarkoitus katsoa asennuskuvia liite 11 ja liite 14. Putkisto varusteineen asennetaan hyviä asennustapoja ja vahvan kokemuksen osoittamia keinoja käyttäen. LV-asennusta tehdessä on otettava huomioon, että laitteisto voidaan purkaa moduuleiksi ja koota uudestaan.

Moduuleista ei ole koskaan tarkoitus irrottaa putkia ja muita varusteita, kun laitteistoa puretaan moduuleiksi ja kootaan moduuleista. Valmistuneet moduulit, joihin ei ole vielä tehty yhtään LV-asennusta, kootaan ensin moduuleiden kokoamisohjeita noudattaen patteriverkoston simulointilaitteiston täyteen mittaan. Tällöin jokaisen moduulin täytyy olla kiinnitettynä toisiinsa. Tämän jälkeen vasta aloitetaan LV-asennus, sillä moduulista toiseen jatkuvien vaakarunkojohtojen sekä pystylinjojen on osuttava tarkasti toisiinsa moduulien rajakohdissa. Moduulin rajakohdissa putket on pystyttävä toistuvasti liittämään yhteen ja irrottamaan toisistaan. Putkien kiinnityskohdat on mitattava tarkasti siten, että putket ovat samassa kohdassa jokaisessa moduulissa. Tämä täytyy tehdä siksi, että mikäli moduulijärjestys kootessa muuttuu tai moduulilinja jätetään välistä pois, on putkien silti osuttava kohdilleen.

Putket varusteineen on asennettava siten, että ne pitävät paikkansa ja pysyvät suorassa silloinkin kun moduulit on irrotettu toisistaan. Toisin sanoen putkikiinnikkeitä on oltava riittävästi moduulia kohden, mutta kuitenkin niin, että putkien lämpölaajeneminen on otettu huomioon.

Putkiliitokset moduulien rajakohdissa

Moduulien rajakohdissa käytetään putkiliitoksissa puristusliitoksilla kiinnitettävää yhdistäjää (LVI nro 1548 684) tai joitakin muita liittimiä, joita voi avata ja kiertää kiinni moduuleiksi purettaessa ja kootessa.

Putkien kannakointi

Kupariputket kiinnitetään 21 mm:n taustavaneriin esim. poraamalla 16 mm:n pituiselle messinkiankkurille reikä, ankkuri upotetaan reikään, siihen kierretään kierretanko ja tangon päässä putken kiinnittämiseen käytetään eristettyä putkikannaketta, esim. LVI nro 3232 902.

Putkimateriaali

Putkimateriaalina käytetään kuparia, ellei työselityksessä toisin mainita.

Vesipatterit

Vesipatterit ovat Purmon kaksilevyisiä paneeliradiaattoreita, malli Hygiene. Vesipatterit kiinnitetään taustavaneriin kuten normaaliin seinään. Patteriventtiilit valitsee tilaaja.

Venttiilit

Linjasäätöventtiilit asennetaan siten, että niitä voidaan käyttää esteettömästi mittaus-, säätö- ja sulkutarkoituksessa. On tärkeää, että oikea venttiili asennetaan juuri sille paikalle, mihin asennuspiirustuksessa on merkitty sen sijainti. Esimerkiksi joidenkin putkien virtaamat ovat niin pienet, että vain Oraksen käyttöveden linjasäätöventtiilit (Oras nro 412 012) yltyvät toimintakäyrästöilleen näissä kohdissa. LVI-laiteluettelosta katsotaan oikea venttiili asennuskuvassa näkyvän lyhenteen perusteella.

Varaaja ja päätymoduuli

Varaaja ja laboratoriotilan päätyseinällä sijaitseva moduuli yhdistetään muuhun laitteistoon muoviputkella. Varaaja sijoitetaan lämmönjakohuonemuoduulin välittömään läheisyyteen. Mikäli varaaja liitetään lämmönjakomoduuliin taipuisalla muoviputkella, on putken kestettävä 95-asteista vettä. Taipuisia muoviputkia tarvitaan, koska laboratorio-laitteiston ulkopuolisia osia voidaan tönäistä, esim. varaajaa tai päätyseinän yksinäistä moduulia.

Mikäli nämä ulkopuoliset osat on kytketty kupariputkella muuhun laitteistoon, saattaa putki vaurioitua ja aiheuttaa vesivahingon.

Pumput

Pumput asennetaan käyttäen apuna valmistajan ilmoittamia asennusohjeita.

Rotametrit

Lämmityspatterien virtausmittauksissa käytettävien rotametrien täytyy kestää jatkuvaa 70 asteen käyttölämpötilaa. Tämän vuoksi rotametrit tulee kiinnittää putkistoon PVC-C-muoviyhdistäjällä. Rotametrit laitetaan koon puolesta asennuskuvan mukaisesti.

Paisunta-astia

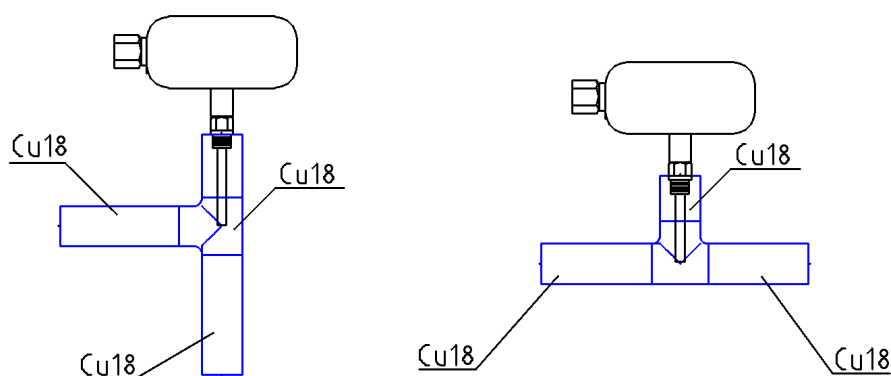
Paisunta-astia ei saa jäädä pelkän putken varaan, vaan se kiinnitetään astiaa ympäröivällä metalliliuskalla moduulin taustavanneriin molemmiin puolin.

Painemittarit

Painemittareiden asteikko täytyy olla laboratoriolaitteeseen sopiva, eli 0–4 bar.

Lämpötila-anturit

Lämpötila-anturit tulee asentaa T-haaralla (kuva 1) siten, että ne eivät häiritse virtausta kohtuuttomasti. Jos anturi asennetaan vaakasuoraan putkeen, tulee mittauspään olla virtaavassa nesteessä korkeintaan puolessa välissä putken sisähalkaisijaa. Anturi voidaan asentaa myös 18 mm kupariseen mutkaan T-haaralla siten, että anturin mittauspää on noin puolessa välissä osaa. Silloin se ei vielä häiritse virtausta. Tämä edellyttää kuitenkin, että anturin suojataskun halkaisija on enintään 4 mm.



Kuva 1. Pt1000-vastusanturi asennettuna T-haaraan sekä putkeen

Yleistä lattialämmityksen asennuksesta

Lattialämmityspotkistossa on yhteensä kolme lattiapiiriä, jotka asennetaan ilmanvaihtokoneiden alle. Nämä piirit ovat laboratoriolaitteiston lämmönluovuttimia. Jakeluputkien asennuksessa ei tarvitse noudattaa täsmälleen asennuskuvaan piirrettyjä reittejä jakotukilta IV-koneille saakka. Lattiapiirit tulee asentaa kuitenkin asennuskuvan mukaisesti, jotta lasketut lämpöhäviöt toteutuisivat.

Ilmanvaihtokoneiden alla kupariputkien asennusväli on 100 mm, ellei asennuskuvassa toisin mainita. Koneen jalkojen lähetyvillä putket täytyy saada suojattua esim. ympärille laitettulla teräsputkella, jotta niiden päälle ei vahingossa astuttaisi.

Lattiapiirit kannattaa koota asennuskuvassa osoitetuissa paikoissa, minkä jälkeen ne voidaan työntää ilmanvaihtokoneiden alle. Tämän jälkeen piirit yhdistetään eristettyihin jakeluputkiin.

Lattiapiirien "vuotovesipisteet"

Lattiapiireihin asennetaan asennuskuvan mukaisiin paikkoihin sulkuventtiileillä varustetut haarat. Haaroja on tarkoitus käyttää simulointiharjoituksissa putkiston vuotokohtina.

Lattiapiirien linjasäätöventtiilit

Jokaiseen lattiapiiriin asennetaan yksi Oraksen LVK-linjasäätöventtiili (Oras nro 412 012) helposti käsiksi päästävään paikkaan.

Ilmanpoistajat lattialämmityspotkistossa

Putkiston korkeimpaan kohtaan asennetaan automaattiset ilmanpoistajat. Ilmanpoistajien kohdalla putkea laajennetaan riittävästi, jotta ilma pääsee kerääntymään ilmanpoistajalle.

Jakotukit

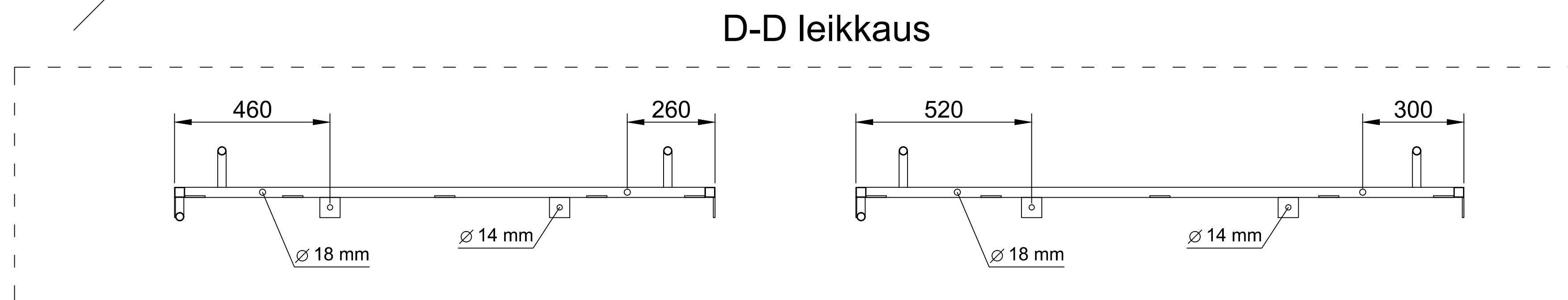
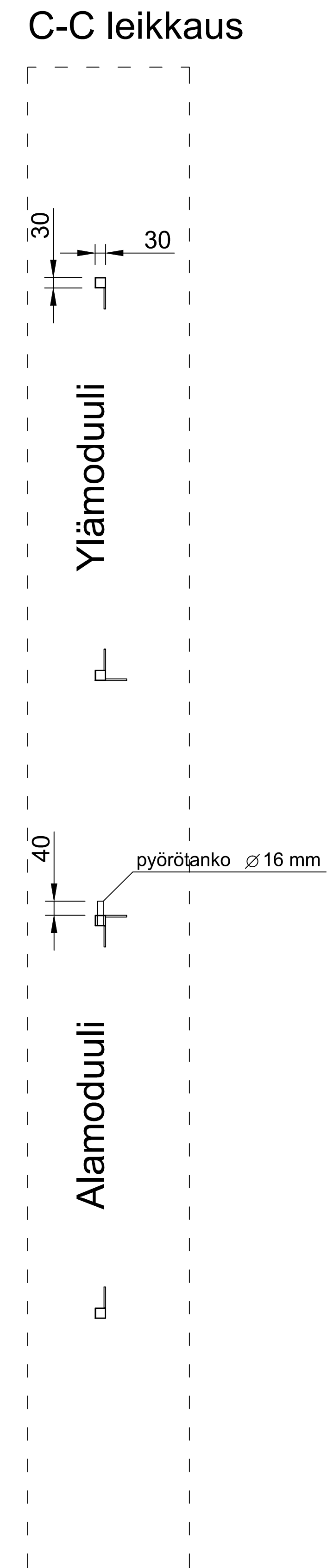
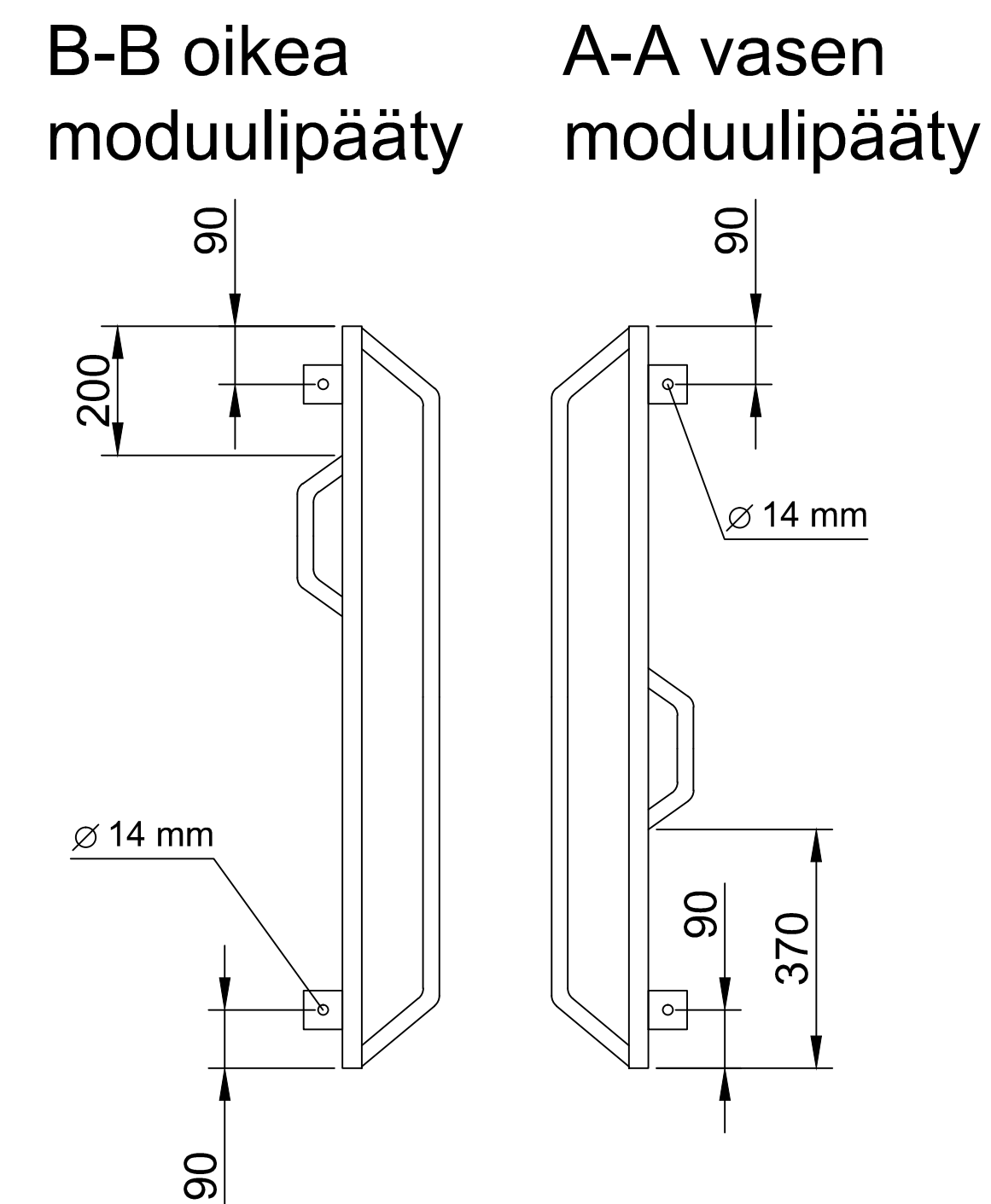
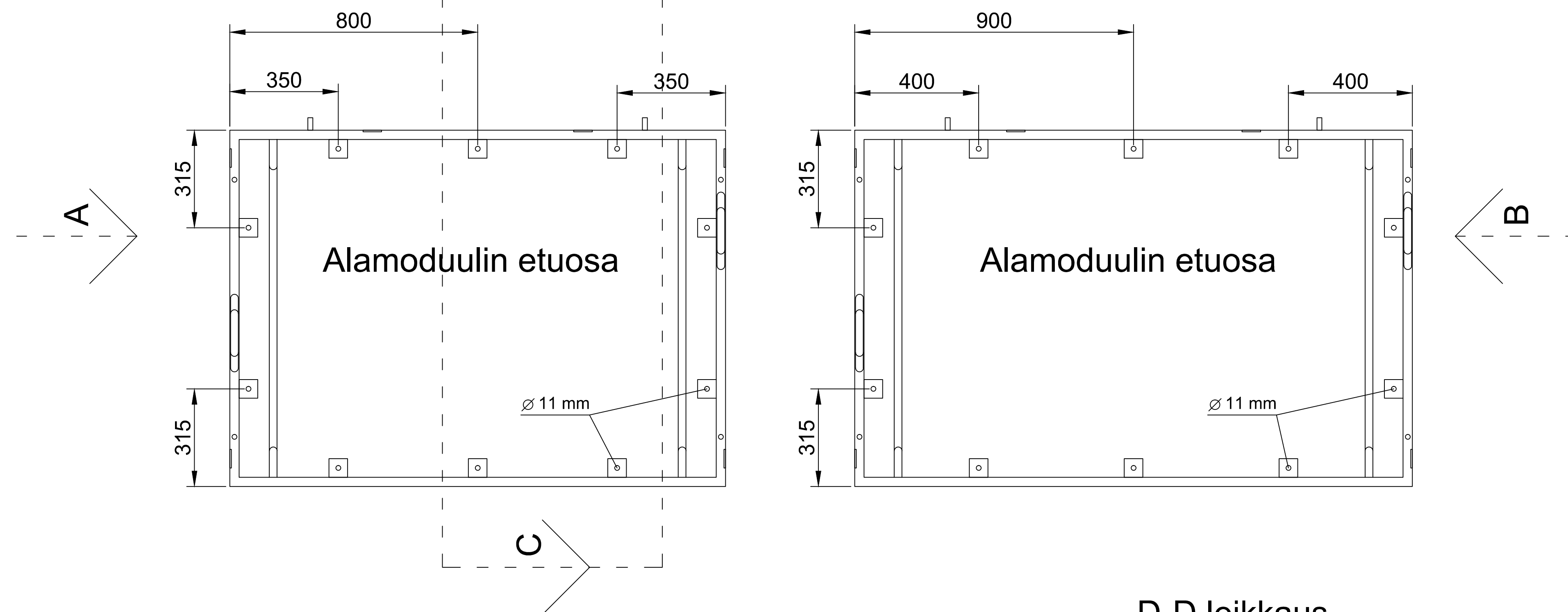
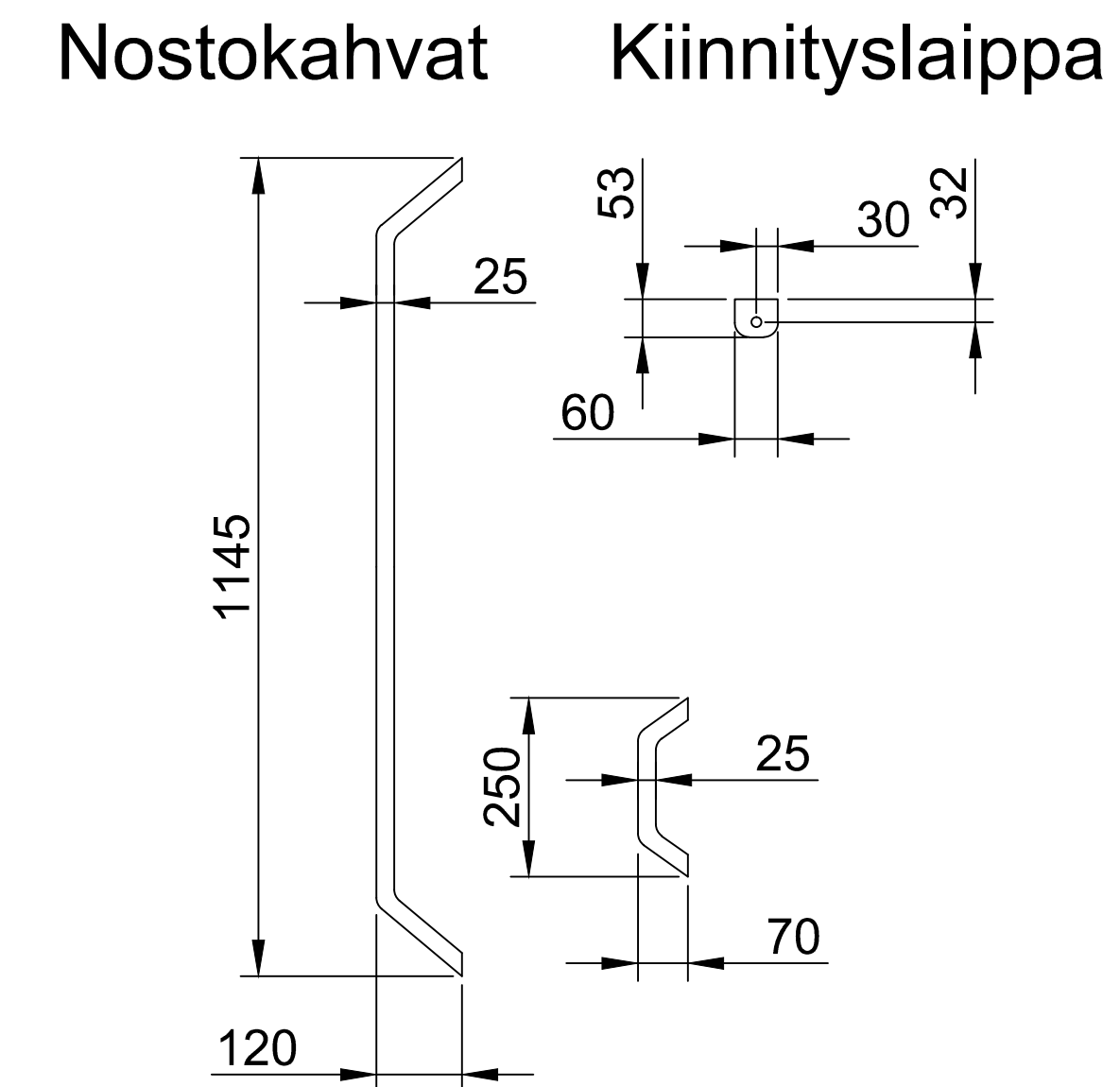
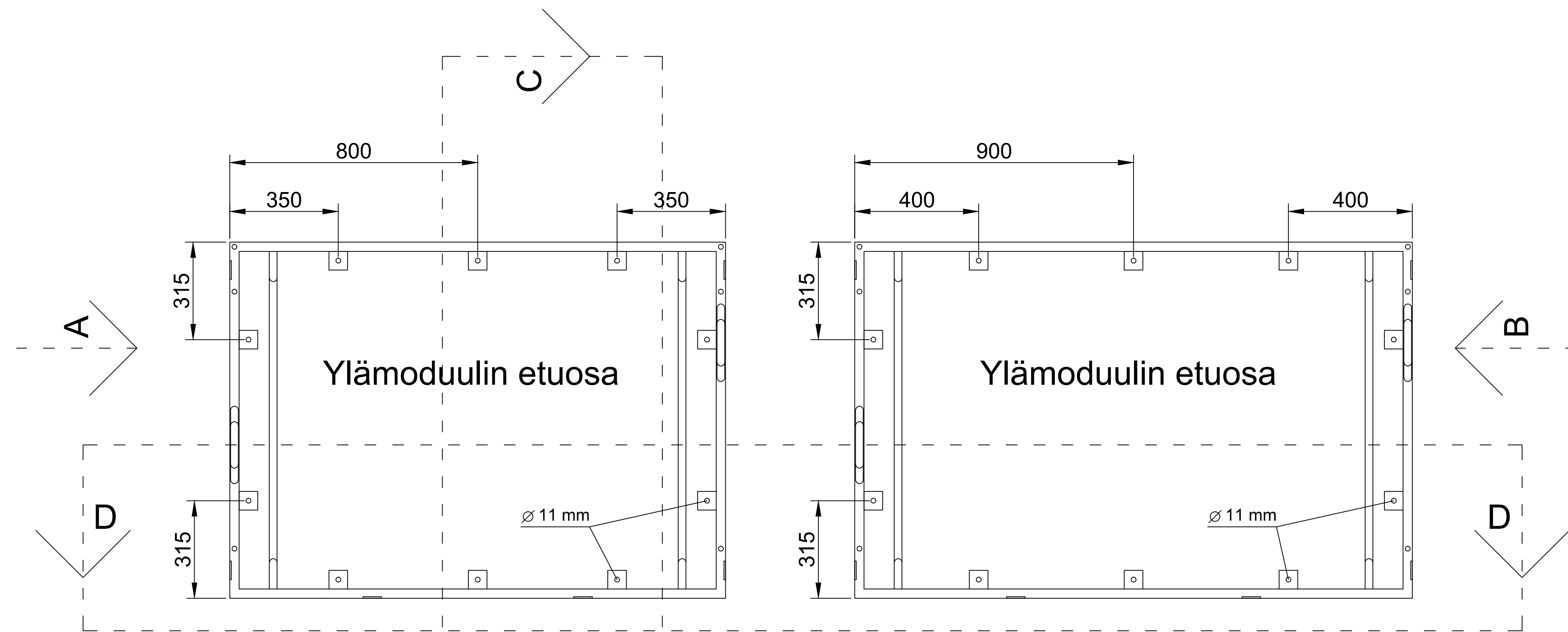
Meno- ja paluupiirien jakotukeista lähtevien putkien täytyy olla aluksi muoviputkea, jotta ne kestävät putkistoon mahdollisesti kohdistuvat iskut. Sen jälkeen putket jatkuvat kuparisina. Laitteiston jakotukit ovat mallia Uponor WGF. Menopuolen jakotukkiin asennetaan jokaiseen piiriin virtausmittari (LVI nro 2025 652).

Putkistovarusteiden suojaetäisyydet

Putkistovarusteiden välille tehdään niin pitkät suojaetäisyydet kuin on mahdollista, kuitenkin vähintään laitevalmistajien suosittelemia vähimmäisetäisyyksiä.

Putkieristykset

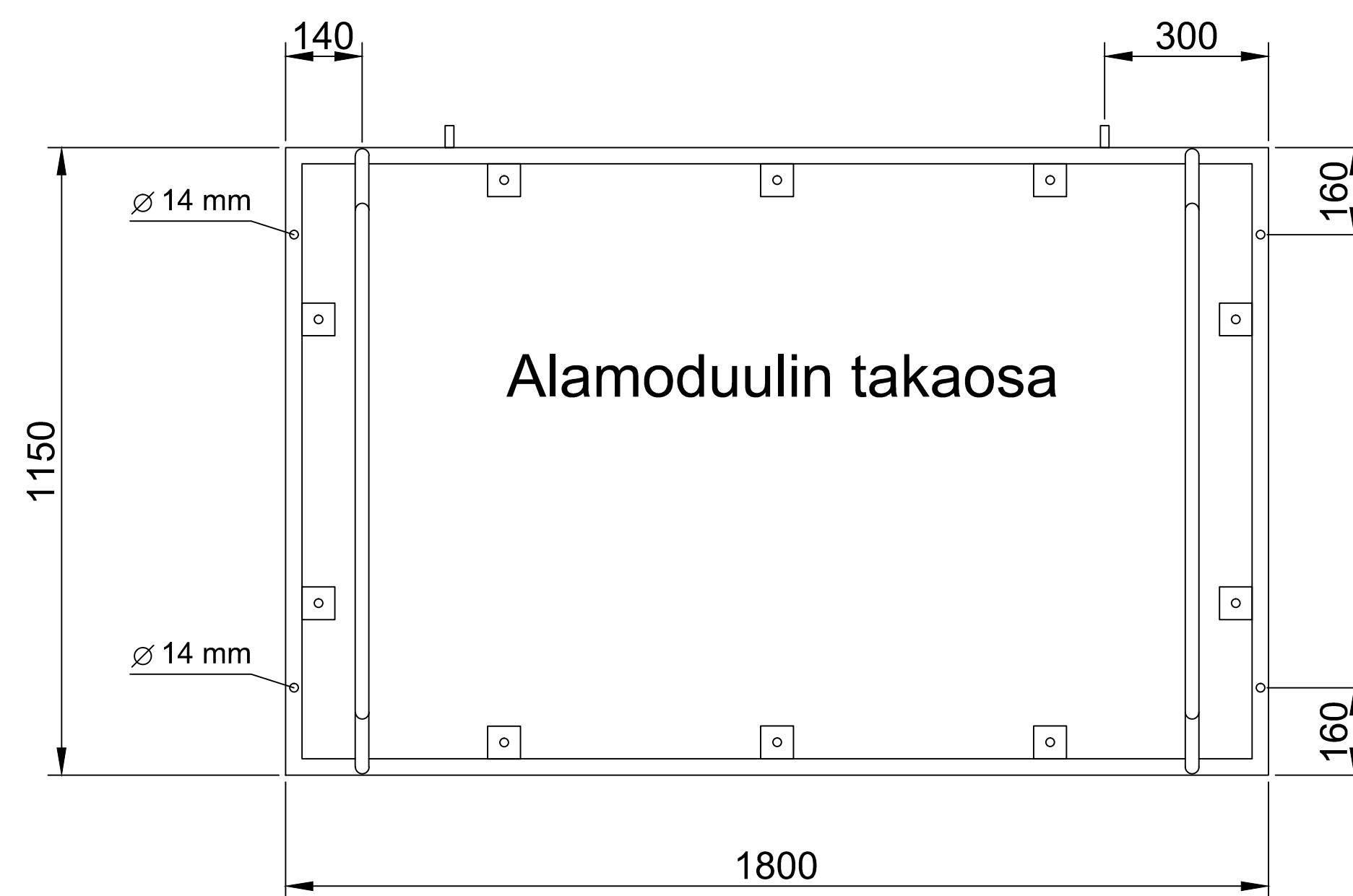
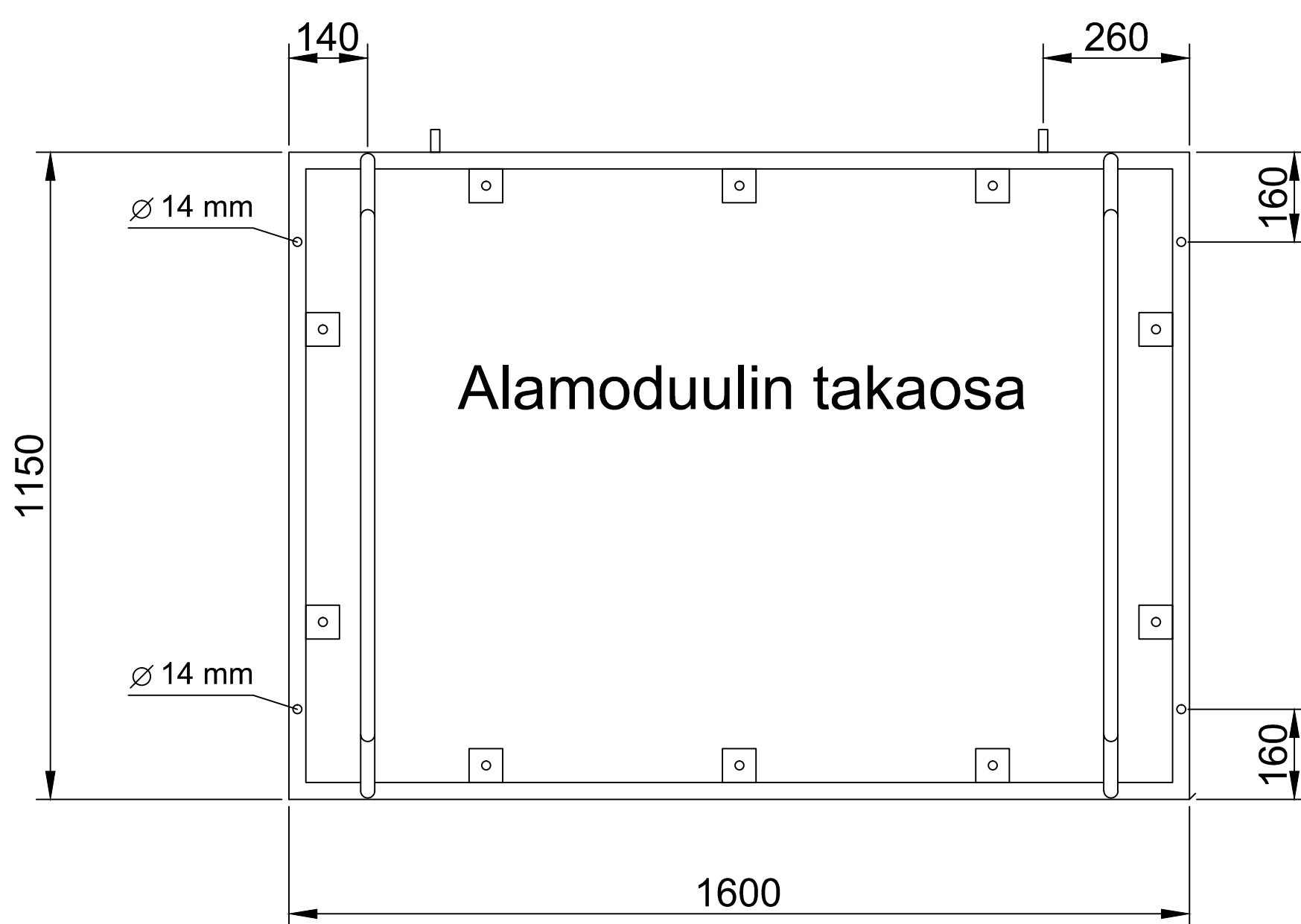
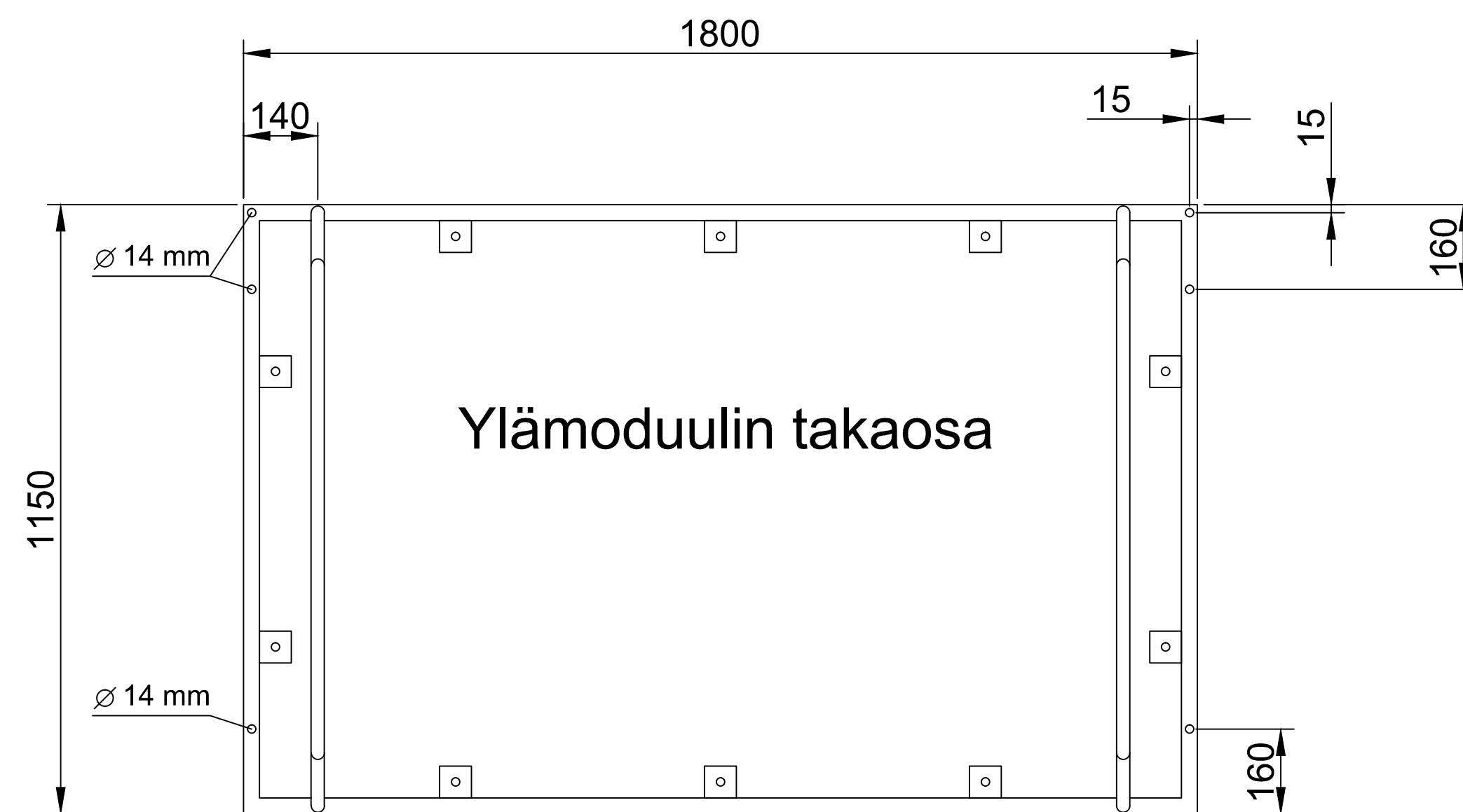
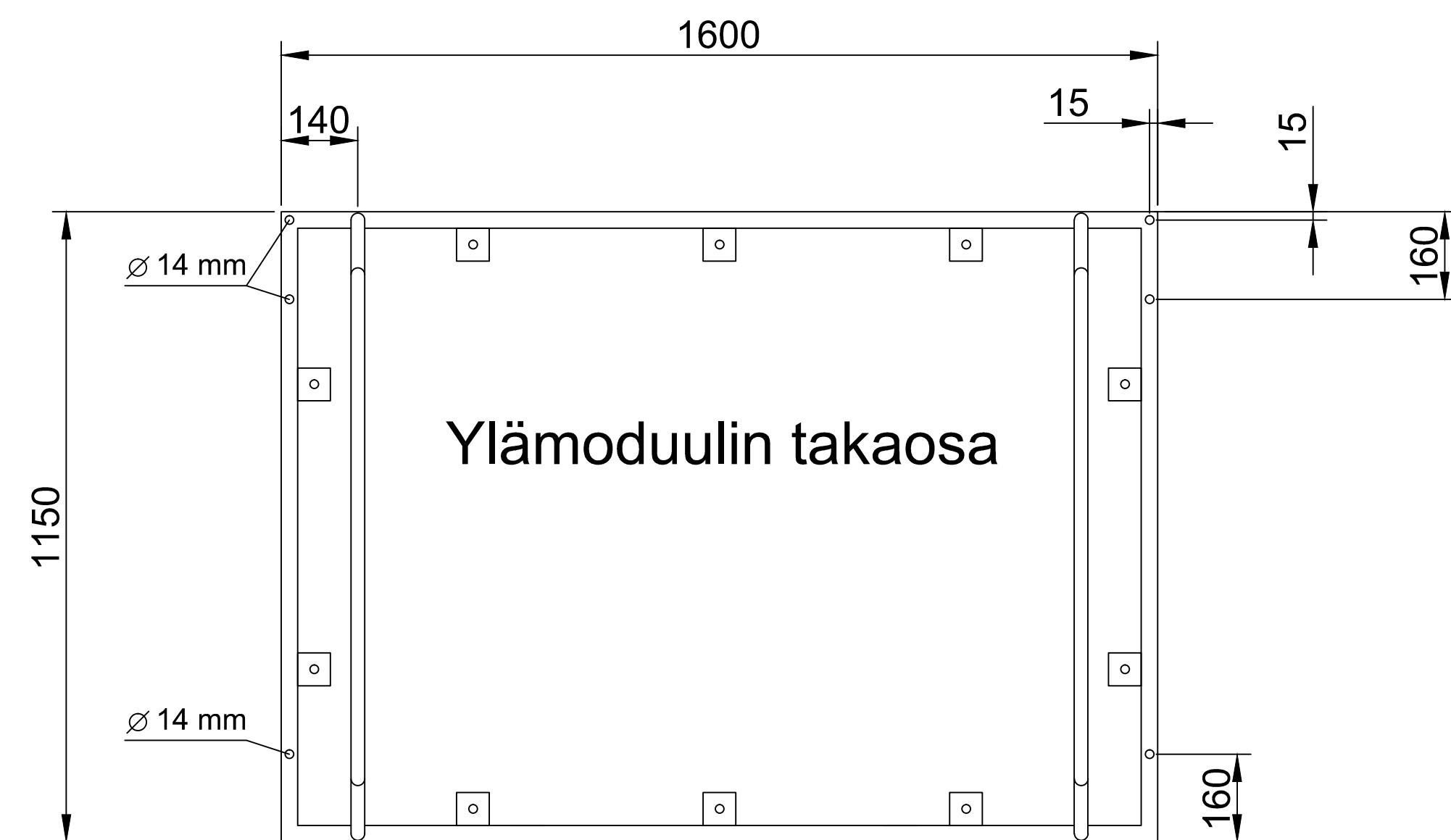
Jakeluputket eristetään vähintään 13 mm:n paksuisella solukumimuovilla.



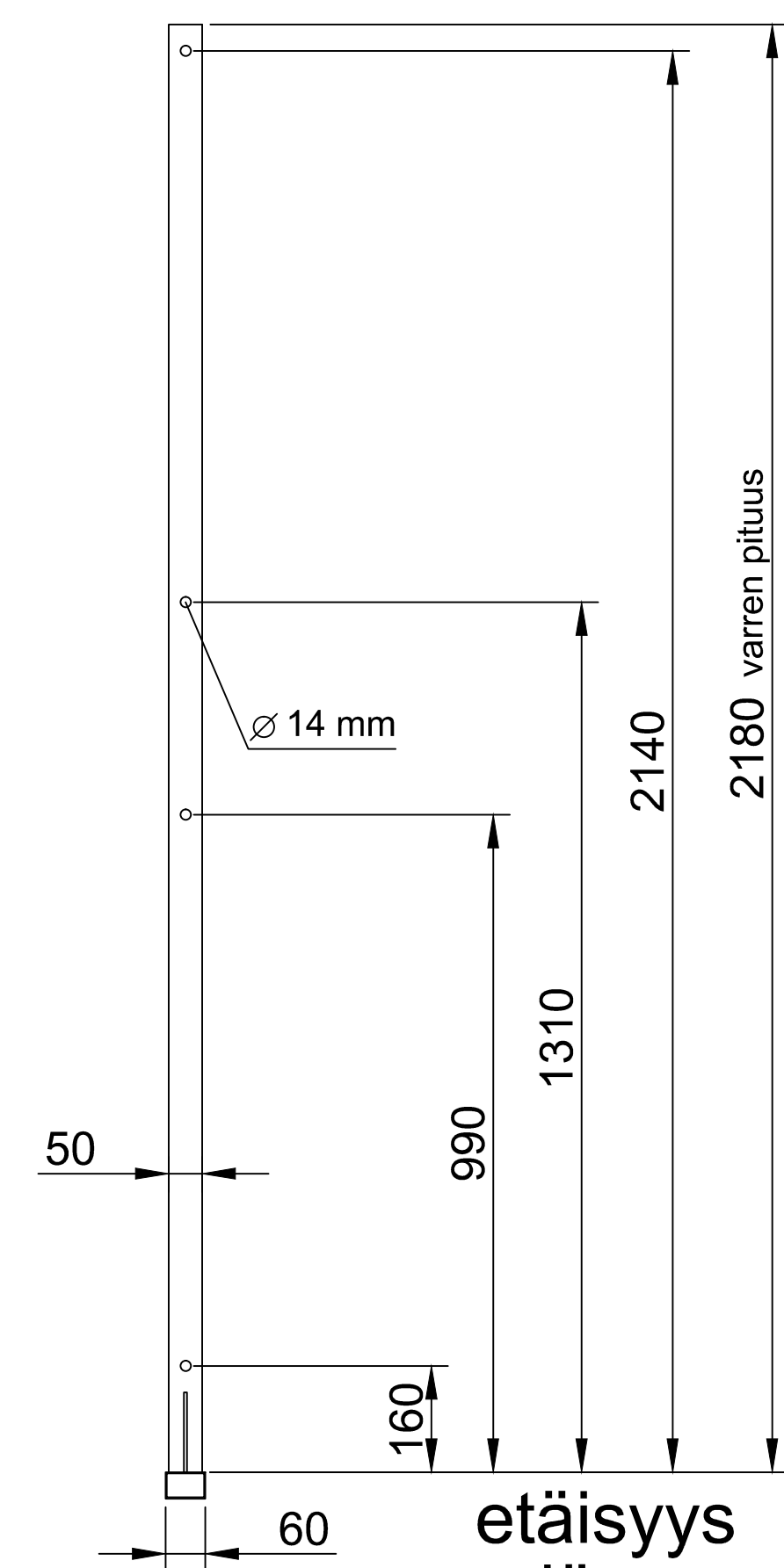
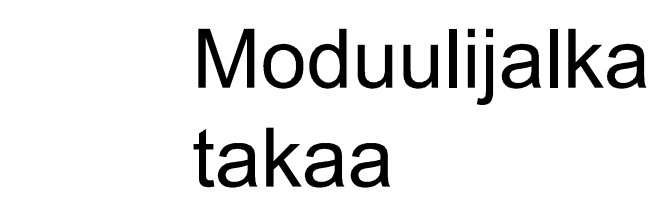
Reiät keskelle huonekaluputkea ja läpi molemmista seinistä

Moduulien rakennuskuva liite 13 s. 1

K.nro/rytö	Kortti/Ita	Kortti/Ita o	Vieraskielinen asiakaskirjoitus versio	
Ranskankielinen LABORATORIALAITTEISTO Ranskankeuhon rintä ja aivot			Pääkirje TASOPIIRUSTUS Pääkirjeen aluksi	Aikata. nro 1
METROPOLIA AMK VANHA MAANTIE 6 02650 ESPOO			MODUULIKEHIKOT RAKENNUSKUVA 1	Käsikirjoitus 1:10
Suome. SJ Pää. CAD Tark. AH Yhtymä. HS			Ranskankeuhon SAMPO JUSLIN Aluksi Suomalaisesta LVI US-asiasta Y-000000 HS	Työ nro 1 Alk.nro. Y-000000 30.5.2012
			Kirj. nro/luokitus Y-0000/00	

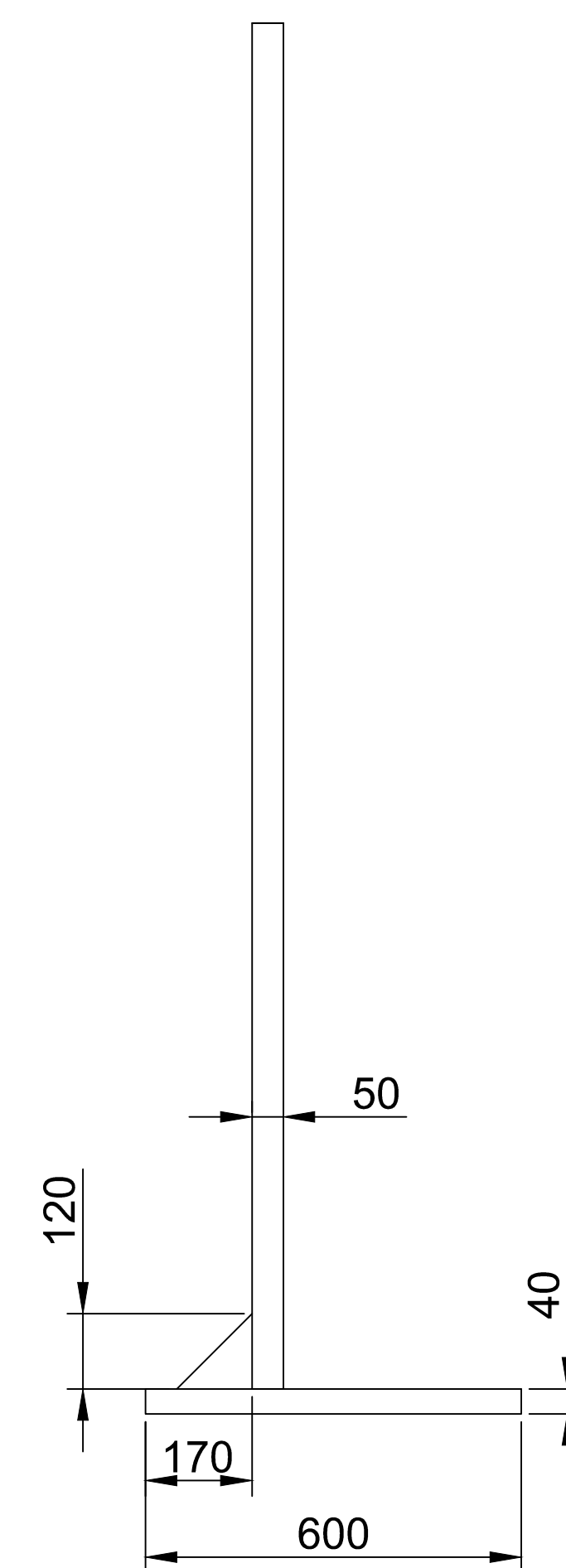


Reiät keskelle huonekaluputkea ja läpi molemmista seinistä



etäisyys
reiän
keskustaan

moduulijalkojen reiät $\varnothing 14$ mm



Moduulien rakennuskuva liite 13 s. 2

[illegible]

LVI -laiteluettelo

Tunnus	Laite	Paikka	Valmistaja	Malli	Tekniset tiedot	LVI-numero	Valmistajan numero
VAR	Sähkövaraaja	Lattialla	OEG	KV varaaja	400 I, 2 kW sähkövastus		
RAD1	Lämmityspatteri	Moduulissa	Purmo	Hygiene	730 W, h=500, l = 1400		
RAD2	Lämmityspatteri	Moduulissa	Purmo	Hygiene	630 W, h=500, l = 1200		
RAD3	Lämmityspatteri	Moduulissa	Purmo	Hygiene	520 W, h=500, l = 1000		
RAD4	Lämmityspatteri	Moduulissa	Purmo	Hygiene	420 W, h=500, l = 800		
RAD5	Lämmityspatteri	Moduulissa	Purmo	Hygiene	310 W, h=500, l = 600		
P1	Lämpöjohtopumppu	LJH-moduuli	Grundfos	Magna 25-60		4 615 541	96 281 022
P2	Lämpöjohtopumppu	LJH-moduuli	Grundfos	Magna 25-60		4 615 541	96 281 022
SV1	3-tiesekoitusventtiili	LJH-moduuli	ESBE	VRG131	DN15, Kvs = 0,63	4 018 501	1160 02 00
LS1	Lämmönsäädin	LJH-moduuli	Ouman	EH-800		4 360 503	
SV2	3-sekoitusventtiili	LJH-moduuli	ESBE	VRG131	DN15, Kvs = 0,4	4 018 500	1160 01 00
LS2	Lämmönsäädin	LJH-moduuli	Ouman	EH-800		4 360 503	
VM1	Rotametri	Nousulinjat 1-4	GF Piping Systems	SK 51	5-50 l/h		198 806 219
VM2	Rotametri	Lattilämmityspiiri	GF Piping Systems	SK 71	30-300 l/h		198 806 221
VM3	Rotametri	LJH-moduuli	GF Piping Systems	SK 72	50-500 l/h		198 806 221
TE	Lämpötila-anturi		Produal	TENA PT 1000	tarkkuus +/- 0,3 °C		1 174 050
PI	Painemittari				asteikko 0-4 bar		

Tunnus	Laite	Paikka	Valmistaja	Malli	Tekniset tiedot	LVI-numero	Valmistajan numero
LSV1	Linjasäätöventtiili	Nousulinja 1	Oras	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
LSV2	.	Nousulinja 2	.	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
LSV3	.	Nousulinja 3	.	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
LSV4	.	Nousulinja 4	.	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
LSV 5	.	Pumpun P1 ohitushaara	.	4100	DN10	4 012 002	
LSV 6	.		.	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
LSV 7	.	Pumpun P2 ohitushaara	.	4100	DN10	4 012 002	
LSV 8	Linjasäätöventtiili	Loput venttiilipaikat	Oras	LVK 4120	Cu12	4 012 104	412 012
PA	Paisunta-astia	LJH-moduuli	EMS Tekniikka	EMS 40 I	esipaine 0,7 bar		P2812
VV	Varoventtiili	LJH-moduuli			avautumispaine 2,5 bar		
JT1	Jakotukki, meno	Lattialämmityspiiri	Uponor	3WGF	12 mm x 2 lähdöt	2 025 002	81203
JT2	Jakotukki, paluu	Lattialämmityspiiri	Uponor	3WGF	12 mm x 2 lähdöt	2 025 002	81203
SUOD	Patruunasuodatin	LJH-moduuli	Filterit	HOT 10 3/4"	tilavuus 1,5 l		8 910 083